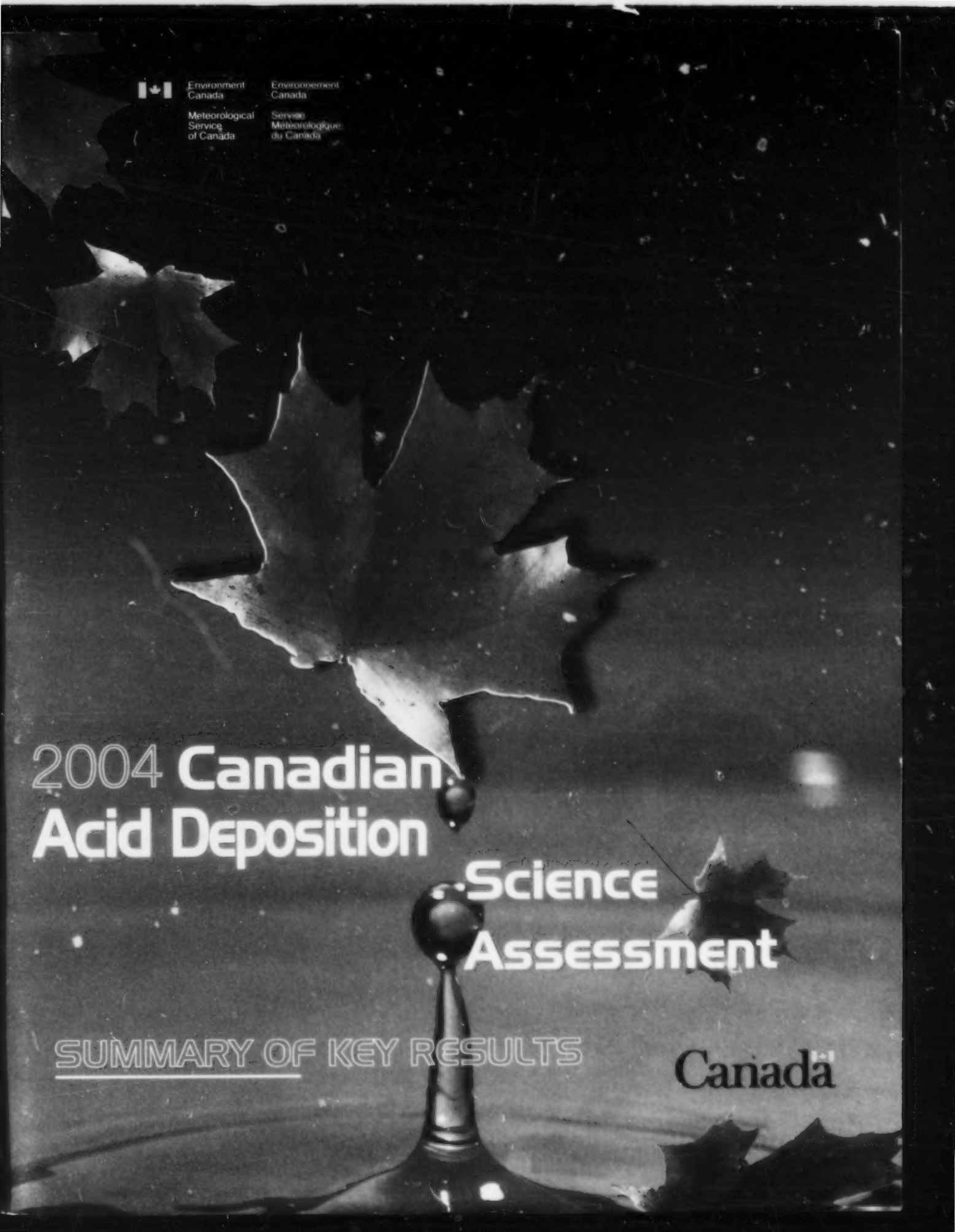

Environment Canada
Meteorological Service of Canada
Environnement Canada
Service Météorologique du Canada
2004 Canadian Acid Deposition Science Assessment
SUMMARY OF KEY RESULTS
Canada

Library and Archives Canada Cataloguing in Publication

Main entry under title:

2004 Canadian acid deposition science assessment:
summary of key results

Text in English.
Includes bibliographical references.
ISBN 0-662-68662-4
Cat. no. En4-46/2004

1. Acid rain – Environmental aspects – Canada.
2. Acid precipitation (Meteorology) – Environment aspects – Canada.
3. Acid deposition – Environmental aspects – Canada.
4. Acid pollution of rivers, lakes, etc. – Environmental aspects – Canada.
5. Environmental monitoring – Canada.
I. Canada. Meteorological Service.

TD195.54C3C32 2005 363.738'62'0971 C2005-980036-4

105-03252/

Executive Summary

While Canada has been very successful at reducing acid-causing emissions, acid deposition is still affecting the Canadian environment and the health of Canadians. Two methodologies, indicating best and worst case scenarios, were used to estimate the impact of acid deposition on Canada. According to these methodologies, approximately 21-75% of eastern Canada, corresponding to approximately 0.5-1.8 million km^2, continues to receive levels of acid deposition in excess of critical loads (i.e. the amount of acid deposition that a particular region can receive without being adversely affected). It is estimated that a further 75% reduction in sulphur dioxide (SO_2) emissions will be required from Canada and the U.S., beyond those agreed to in the Canada-U.S. Air Quality Agreement for 2010, in order to protect eastern Canadian ecosystems from damage by acid deposition. In eastern Canada, sulphur in deposition is still the predominant acidifying agent. However, it is possible that sustained high levels of nitrogen oxide (NO_x) emissions could result in the acidification of ecosystems in the future.

In western Canada (here defined as west of Ontario), there are large areas comprised of geology that is sensitive to acid deposition. These areas are located in northern and southeastern Manitoba, northern Saskatchewan, northeastern Alberta, Nunavut, the Northwest Territories and the coastal mountain ranges of British Columbia. At present, there is insufficient data on both the capacity of these ecosystems to safely assimilate acid deposition and levels of deposition. With a few exceptions, it is not possible to determine the extent to which acid deposition is affecting these potentially vulnerable ecosystems at this time.

In Canada and the U.S., major sources of acid-causing emissions are electric power generation, non-ferrous mining and smelting, upstream oil and gas operations and transportation. Major Canadian emissions sources that impact eastern Canada are located in Ontario and Quebec. Major emissions sources in the U.S., that impact eastern Canadian ecosystems, are located in the states of the Midwest, Great Lakes, Ohio River Valley and East Coast. Major emissions sources that impact western Canadian ecosystems are located in Alberta, southern Saskatchewan and northern Manitoba.

There are several factors that are decreasing, or have the potential to delay, the efficacy of emission reductions. The concentration of acid-neutralizing base cations in soils is being depleted as acid deposition continues. Consequently, the capacity of soils to neutralize acids is declining, thereby increasing the susceptibility of many regions to acid deposition. As acid deposition decreases, sulphur stored in forest soils is being released into lakes and rivers adding to the acid burden of these ecosystems. Under periods of drought followed by rain, wetlands which store sulphur from deposition, release it into lakes and streams resulting in episodic acidification events. In a few locations, excess nitrogen is leaving watersheds and acting as an additional acidifying agent to surface waters.

Despite factors that are decreasing the efficacy of emission reductions, improvements in the acidification status of many lakes are being observed, particularly those located near smelters which have dramatically reduced emissions. The pathway to recovery in many of these lakes is complex and slow and may result in permanently altered biological communities. The capacity for many of these lakes to support aquatic biota is improving however, and increases in waterbirds such as the Common Loon have been observed.

Acid deposition is linked to many other environmental issues. Acid deposition shares precursor emissions (SO_2 and NO_x) with ground-level ozone and particulate matter (a.k.a. smog). The pollutants that cause acid deposition contribute to climate change and climate change has the potential to affect the geographic extent and severity of acid deposition and its effects. Furthermore, acid deposition exacerbates the conversion of relatively non-toxic elemental mercury to highly toxic and bioaccumulative methylmercury. Hence, mitigating acid deposition benefits many other environmental, economic and human health issues.

Due to the wide-ranging impacts of acid deposition on humans and their environments, there are potentially many socio-economic benefits from acid deposition mitigation. For example, the emerging science linking acid deposition to reductions in the productivity of forests suggests that reducing acid deposition could have significant economic benefits to the forestry sector.

Clearly, the problem of acid deposition is not yet fully addressed. In eastern Canada, on-going efforts to reduce acid-causing emissions and better understand the complex and long-term impacts of this pollution will be essential for effectively managing the issue into the future. The presence of acid-sensitive geology and increasing emissions of SO_2 and NO_x suggests that new monitoring efforts should expand into the western provinces to ensure that acid deposition does not damage ecosystems in this region.

The 2004 Canadian Acid Deposition Science Assessment has been prepared by researchers from the federal and provincial governments and academia. This assessment builds upon the results presented in the 1997 Canadian Acid Rain Assessment and presents the latest research related to the following:

- progress towards reducing acid-causing emissions;
- response of the atmosphere to past, present, and future changes in emissions;
- new critical load estimates for aquatic and terrestrial ecosystems;
- effects on forests, soils, aquatic ecosystems, wildlife, and human health;
- recovery of aquatic ecosystems;
- linkages to other environmental issues;
- gaps in our understanding of the issue; and,
- on-going efforts to quantify the costs and benefits associated with reducing acid deposition.

The assessment consists of two documents, the Summary of Key Results and the Assessment. The Summary of Key Results synthesizes the major findings of the Assessment in the context of ten questions and sub-questions put forth by the acid deposition policy and science communities. The Assessment presents a comprehensive review of acid deposition science in Canada.

Introduction

The 2004 Canadian Acid Deposition Science Assessment represents two firsts: It is the first major synthesis of acid deposition science in Canada since the launch of the Canada-wide Acid Rain Strategy for Post-2000; and, it is the first comprehensive examination of atmospheric and ecosystem responses to sulphur dioxide (SO_2) emission reductions achieved under Phase I of Title IV of the 1990 U.S. Clean Air Act Amendments.

The fifth acid deposition science assessment in Canada in the last 25 years, this report arrives at an interesting time in the lifecycle of this issue. Since completion of the last assessment[1], compelling new science has emerged linking chronic acidification of soils to forest decline and delays in aquatic ecosystem recovery. Large increases in emissions of SO_2 and nitrogen oxides (NO_x) from oil sands operations in northern Alberta are raising concerns that acid deposition could potentially impact the west. Despite widespread misconceptions that the issue is solved, new research indicates that the problem could linger for another 60 years or more in eastern Canada[2]. With public awareness and concern for the issue at low ebb, this is an opportune time to take stock and plan for the future.

What is acid deposition? Acid deposition is the end product of reactions between sulphur oxides (SO_x), nitrogen oxides (NO_x) and water in the atmosphere. Acid deposition reaches earth as precipitation (acid rain or fog) and as gases, acid aerosols and particles (dry deposition or sedimentation). The acidity (or pH) of acid deposition is influenced by atmospheric concentrations of sulphur- and nitrogen-derived acids and bases. Atmospheric levels of acids and bases are primarily determined by anthropogenic emissions of SO_x, NO_x, ammonia and base cations from sources such as base metal smelting, thermal electric power generation, upstream oil and gas and transportation. In eastern Canada, SO_2 emissions account for the majority of acidity in deposition.

Pollutants that cause acid deposition can travel hundreds and even thousands of kilometres from the source of emission. Due to long-range transport and the destructive nature of acids, acid deposition has a wide range of impacts on humans, their environments and economy over a broad geographic range. Acid deposition affects lakes, rivers, soils, forests, buildings, and human health. Acid deposition reduces the biodiversity of aquatic ecosystems and has the potential to alter the composition of species in terrestrial ecosystems.

Acid deposition shares precursor emissions (SO_x and NO_x) with ground-level ozone and particulate matter (a.k.a. smog). Nitrogen oxides can contribute to the formation of ozone in the presence of volatile organic compounds (e.g., solvents) and sunlight. Sulphur and nitrogen oxides can react with other chemicals to form particulate matter (PM). Both PM and ozone are known to adversely affect the health of individuals. Furthermore, smog and some smog precursors scatter or absorb light travelling through the atmosphere, which affects visibility and contributes to climate change.

Long-range transport, combined with the proximity of major sources of SO_x and NO_x emissions in the U.S. to Canada, means that solutions to Canada's acid deposition problem require emission reductions from both countries. In Canada, the Eastern Canadian Acid

[1] Environment Canada, 1998. 1997 Canadian Acid Rain Assessment, Vols. 1-5. ISBN 0-662-2598-6

[2] Based on forecast modelling of ecosystem response to optimistic emission reduction scenarios from Clair et al. (2003) for Nova Scotia and New Brunswick and Aherne et al. (2003) for Ontario. Studies assume that factors that would slow ecosystem recovery such as forest management practices, forest fires and nitrate leaching are not occurring.

Rain Program (ECARP) represented the first coordinated effort of the federal government and the seven easternmost provinces to address this issue. This program, launched in 1985, achieved its goal of reducing SO_2 emissions to 50% of 1980 levels by 1994. In the U.S., amendments were made to the U.S. Clean Air Act in 1990, which specified deep cuts in SO_2 emissions by 1997 (Phase I), further cuts by 2010 (Phase II) and reductions in NO_x emissions. The Canada-U.S. Air Quality Agreement (AQA), signed in 1991, reaffirmed the commitments of both governments to reduce SO_2 and NO_x emissions and consult on, and develop, the means to address other transboundary air pollution issues.

When the ECARP was developed, it was hoped that SO_2 emission reductions by Canada and the U.S. would reduce the deposition of sulphates from precipitation (i.e., rain and snow) from levels as high as 40 kg per hectare per year to no more than 20 kg per hectare per year. The 20 kg per hectare per year "target load"[3], specified in 1983, was expected to protect aquatic environments that were moderately sensitive to acids. Although the 20 kg per hectare target is expected to be achieved by 2010, both the 1990[4] and 1997[5] Canadian Acid Rain Assessments concluded that many lakes and forests will continue to sustain damage from acid deposition. The 1990 assessment confirmed that a more meaningful measure of an ecosystem's capacity to receive acid deposition without sustaining damage is the "critical load." Critical loads are estimates of an environment's assimilative capacity, that is, the amount of acid deposition that a particular region can receive without being adversely affected.

The 1985 ECARP was a first step towards solving the acid deposition problem in Canada. In 1994, the federal, provincial and territorial governments began developing a long-term acid deposition management strategy for Canada that would mitigate the environmental and human health effects associated with acid deposition and acidifying emissions, respectively. Launched in 1998, the Canada-wide Acid Rain Strategy for Post-2000 (a.k.a. the Strategy) has a long-term goal "to meet the environmental threshold of critical loads for acid deposition across Canada." The *Strategy* is currently being implemented. It consists of the following five commitments:

- Pursuing further emission reduction commitments from the U.S.;
- Establishing new sulphur dioxide (SO_2) emission reduction targets in eastern Canada;
- Preventing pollution, and keeping "clean" areas clean;
- Ensuring the adequacy of acid rain science and monitoring programs; and,
- Reporting annually on SO_2 and nitrogen oxides (NO_x) emissions and forecasts, on compliance with international commitments, and on progress in implementing the strategy.

This assessment builds upon the results presented in the 1997 Canadian Acid Rain Assessment and presents our current scientific foundation for supporting the commitments of the *Strategy*. Preparation of this assessment began in 2001 with a series of workshops involving scientists and policy-makers from the federal and provincial governments and several universities. These workshops led to the development of a table of contents for the assessment as well as the following ten science questions that articulate the information needs of the science and policy communities:

1. Is acid deposition still affecting the Canadian environment and the health of Canadians? If so, where, how, and to what extent is it affecting these endpoints?
2. What are the current and forecasted trends in acid-causing emissions?

[3] In this case, target load is defined as an ecologically based objective that is less than the critical load and would thus allow some ecological damage. (Brydges, T. 2004. Acid Rain in Story and Song. Thomas and Marilyn Brydges Publ. Brampton, ON. Pp.131.)

[4] RMCC. 1990. The 1990 Canadian Long-Range Transport of Air Pollutants and Acid Deposition Assessment Report, Federal/Provincial Research and Monitoring Coordinating Committee.

[5] Environment Canada, 1998. 1997 Canadian Acid Rain Assessment. Vols. 1-5. ISBN 0-662-2598-6

3. Where are the major industrial sources of acid-causing emissions that affect Canadian ecosystems?
4. Are further emissions reductions necessary in Canada and the U.S.? If so, by how much, and from where, do emissions need to be reduced?
5. Will NO_x reductions compensate for the need to reduce SO_2? Is nitrogen saturation a problem and how will changing NO_x emissions impact on Canadian ecosystems?
6. Are there other factors that might decrease the efficacy of emission reductions?
7. Are affected ecosystems recovering in response to past reductions in SO_2 emissions? If so, how is recovery proceeding? If not, why, when, and under what conditions, can we expect recovery to acceptable environmental objectives? What role do NO_x emissions play? And,
8. What are some of the socio-economic benefits of acid deposition mitigation?
9. What are the linkages and implications of other environmental problems with acid deposition, in particular, ozone and particulate matter formation, climate change and mercury?
10. Where do we need to continue atmospheric and effects monitoring? Where should we focus future research efforts for acid deposition?

The goal of this assessment is to synthesize the current state of knowledge on acid deposition in Canada. This knowledge is presented as answers to the ten questions and sub-questions in this Summary of Key Results. The full assessment provides a comprehensive examination of all aspects of acid deposition science and is published as a separate document. The full assessment and this report are available on the Environment Canada website (**http://www.msc-smc.ec.gc.ca/saib/acid/acid_e.html**) and from the Science Assessment and Integration Branch, Meteorological Service of Canada, Environment Canada, 4905 Dufferin Street, Downsview, Ontario, M3H 5T4.

1. Is acid deposition still affecting the Canadian environment and the health of Canadians? If so, where, how, and to what extent is it affecting these endpoints?

Acid deposition is still affecting the Canadian environment and the health of Canadians.

Canadian Environment

In Canada, the primary indicator of whether or not acid deposition is still affecting the environment is the occurrence of exceedances of critical loads. In this assessment, critical loads are defined as "a quantitative estimate of an exposure to one or more pollutants below which significant harmful effects on specified sensitive elements of the environment do not occur according to present knowledge"[6]. For the first time in North America, combined maps of the critical load values for both aquatic[7] (i.e. lake) and terrestrial (i.e. upland forest soils) ecosystems have been produced for those regions where lake chemistry and/or soil chemistry and acid deposition data were available. The combined critical load maps take into account the acidity of wet and dry deposition derived from both sulphur and nitrogen pollutants and express critical loads as acid equivalents[8] per hectare per year (eq/ha/yr). To produce these combined critical load maps, the most sensitive element of the environment - either the aquatic or terrestrial ecosystem - determines the critical load of a particular area (i.e. mapped grid square). Two methods were used to calculate critical load exceedances for aquatic and terrestrial ecosystems. The first method, N-leaching, accounts for the acidity of wet and dry deposition of sulphur and only the component of nitrogen deposition that is estimated to be acidifying (i.e. not retained in the watershed). The second method, Steady-state, assumes that all sulphur and nitrogen deposition is acidifying.

N-leaching critical load exceedances best estimate the immediate impact on the environment of current levels of acid deposition. This measure is considered an "optimistic" indicator of impacts because ecosystems have yet to reach equilibrium with acid deposition. Steady-state critical load exceedances are considered a more accurate measure of the sustainable (long-term) impacts of current levels of acid deposition and may be considered a more "pessimist" measure of the short-term current impact. Exceedances of critical loads occur when levels of acid deposition exceed the level that the ecosystem can assimilate without significant harmful effects.

The results of this assessment confirm that although levels of acid deposition have declined in eastern Canada over the last several decades (e.g., Figures 1.1 and 1.2), approximately 21-75% of eastern Canada, corresponding to approximately 0.5-1.8 million km^2, continues to receive levels of acid deposition in excess of critical loads (Figures 1.3 and 1.4) according to best and worst case scenarios, respectively.

[6] Definition employed by the UN ECE (Nilsson, J. and Grennfelt, P., 1988. Critical loads for sulphur and nitrogen. Report from a workshop held at Skokloster, Sweden. Miljorapport 1988:15, Nordic Council of Ministers, Copenhagen, Denmark. 31pp.).

[7] Water chemistry data were compiled for 3130 lakes from all the Canadian provinces and territories (except PEI) to assess their current status. In the eastern provinces (defined as ON and eastwards), where lake chemistry is changing due to reductions in acidic deposition, the sampling period for these "current status" lakes was 1997 or later. This restriction was relaxed for the western provinces and territories. The compiled databases provide a sample population that is not a representative subset of the overall lake resource. Geographically, the lakes are irregularly distributed, often occur in clusters, and there are numerous areas where sample data are unavailable or too out-of-date. Lake samples in the eastern provinces tend to be located in acid sensitive terrain, and in both sensitive and insensitive terrain in the west and north. The available sample populations were skewed to larger lakes, and it is likely that many aquatic effects occur in the small lakes.

[8] Since S and N have different atomic weights, it is impossible to report combined critical load values on a mass basis (e.g., kg/ha/yr). Instead, combined critical loads must be reported on a charge equivalency basis, referred to as acid equivalents (e.g., eq/ha/yr).

1. Is acid deposition still affecting the Canadian environment and the health of Canadians? If so, where, how, and to what extent is it affecting these endpoints?

Acid deposition is still affecting the Canadian environment and the health of Canadians.

Canadian Environment

In Canada, the primary indicator of whether or not acid deposition is still affecting the environment is the occurrence of exceedances of critical loads. In this assessment, critical loads are defined as "a quantitative estimate of an exposure to one or more pollutants below which significant harmful effects on specified sensitive elements of the environment do not occur according to present knowledge"[1]. For the first time in North America, combined maps of the critical load values for both aquatic[2] (i.e. lake) and terrestrial (i.e. upland forest soils) ecosystems have been produced for those regions where lake chemistry and/or soil chemistry and acid deposition data were available. The combined critical load maps take into account the acidity of wet and dry deposition derived from both sulphur and nitrogen pollutants and express critical loads as acid equivalents[3] per hectare per year (eq/ha/yr). To produce these combined critical load maps, the most sensitive element of the environment - either the aquatic or terrestrial ecosystem - determines the critical load of a particular area (i.e. mapped grid square). Two methods were used to calculate critical load exceedances for aquatic and terrestrial ecosystems. The first method, N-leaching, accounts for the acidity of wet and dry deposition of sulphur and only the component of nitrogen deposition that is estimated to be acidifying (i.e. not retained in the watershed). The second method, Steady-state, assumes that all sulphur and nitrogen deposition is acidifying.

N-leaching critical load exceedances best estimate the immediate impact on the environment of current levels of acid deposition. This measure is considered an "optimistic" indicator of impacts because ecosystems have yet to reach equilibrium with acid deposition. Steady-state critical load exceedances are considered a more accurate measure of the sustainable (long-term) impacts of current levels of acid deposition and may be considered a more "pessimist" measure of the short-term current impact. Exceedances of critical loads occur when levels of acid deposition exceed the level that the ecosystem can assimilate without significant harmful effects.

The results of this assessment confirm that although levels of acid deposition have declined in eastern Canada over the last several decades (e.g., Figures 1.1 and 1.2), approximately 21-75% of eastern Canada, corresponding to approximately 0.5-1.8 million km^2, continues to receive levels of acid deposition in excess of critical loads (Figures 1.3 and 1.4) according to best and worst case scenarios, respectively.

[1] Definition employed by the UN ECE (Nilsson, J. and Grennfelt, P. 1988. Critical loads for sulphur and nitrogen. Report from a workshop held at Skokloster, Sweden. Miljorapport 1988:15. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, Denmark. 31pp.).

[2] Water chemistry data were compiled for 3130 lakes from all the Canadian provinces and territories (except PEI) to assess their current status. In the eastern provinces (defined as ON and eastwards), where lake chemistry is changing due to reductions in acidic deposition, the sampling period for these "current status" lakes was 1997 or later. This restriction was relaxed for the western provinces and territories. The compiled databases provide a sample population that is not a representative subset of the overall lake resource. Geographically, the lakes are irregularly distributed, often occur in clusters, and there are numerous areas where sample data are unavailable or too out-of-date. Lake samples in the eastern provinces tend to be located in acid sensitive terrain, and in both sensitive and insensitive terrain in the west and north. The available sample populations were skewed to larger lakes, and it is likely that many aquatic effects occur in the small lakes.

[3] Since S and N have different atomic weights, it is impossible to report combined critical load values on a mass basis (e.g., kg/ha/yr). Instead, combined critical loads must be reported on a charge equivalency basis, referred to as acid equivalents (e.g., eq/ha/yr).

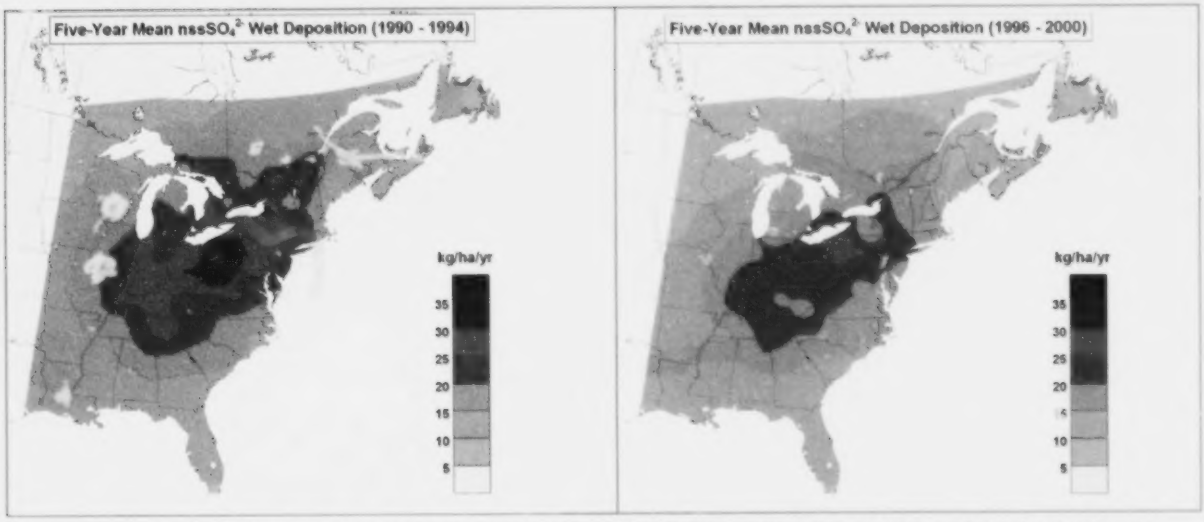


Figure 1.1: Changes to the spatial patterns of non-sea-salt-sulphate (SO_4^{2-}) wet deposition (in kg/ha/yr) in eastern North America from the early to late 1990s. The map on the left shows the 5-year mean wet deposition pattern for the period 1990-1994 and the map on the right shows the 5-year-mean pattern for the period 1996-2000. A significant decrease in the area receiving deposition in excess of 20 kg/ha/yr has occurred in response to decreases in SO_2 emissions. (Note: 1 kg SO_4^{2-}/ha/yr is equal to 20.8 eq/ha/yr).

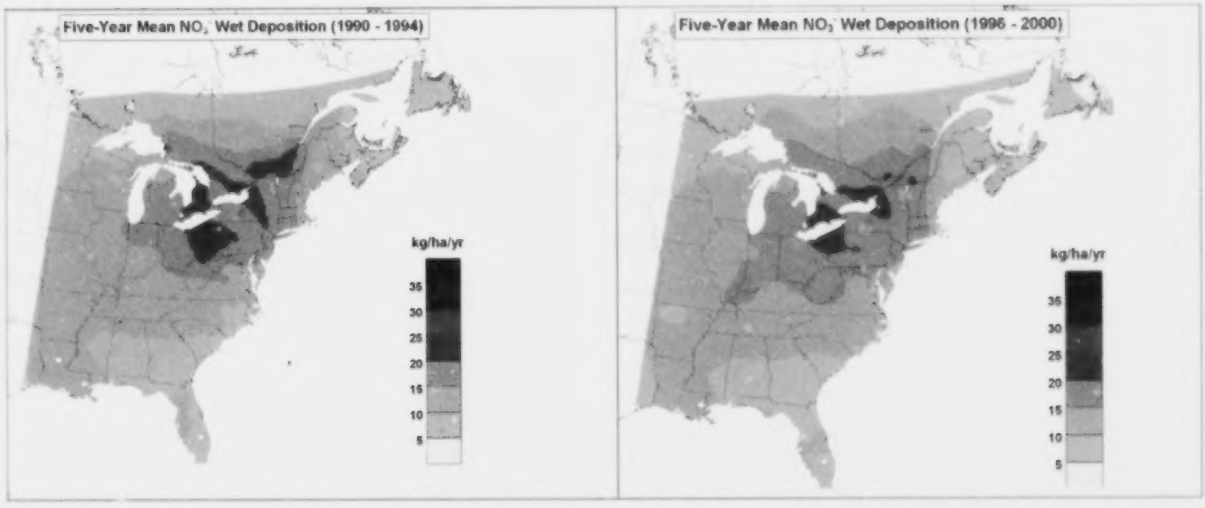


Figure 1.2: Spatial patterns of NO_3 wet deposition over eastern North America in the early and late 1990s. The map on the left shows the 5-year-mean wet deposition pattern for the period 1990-1994 and the map on the right shows the 5-year-mean pattern for the period 1996-2000. In comparison to Figure 1.1, no major changes between the two sets of patterns are apparent; an observation that concurs with the relative constancy of NO_x emissions in this region over the same period. (Note: 1 kg NO_3/ha/yr is equal to 16.1 eq/ha/yr).

It should be noted that lake chemistry data are not available for sensitive terrain in some provinces, most notably northern and southeastern Manitoba, northern Saskatchewan, Nunavut, the Northwest Territories and the coastal mountain ranges of British Columbia. Hence, for these regions, the results presented in Figure 1.3 are unlikely to accurately represent the regional situation; however, there are no other independent critical load analyses to support (or refute) these values. In the other provinces, specifically Newfoundland and Labrador, Nova Scotia, New Brunswick, Quebec and Ontario, the spatial coverage of lake chemistry data and, in some cases, the amounts of data are not adequate to represent the regional situation. It should also be noted that the critical loads for upland forest soils assume no forest harvesting and no forest fires. Since both harvesting and fires make forests more sensitive to acid deposition, the critical load values for forests reported in this assessment are if anything, too high. Furthermore, not all components of nitrogen in dry deposition are taken into account in the critical load exceedance calculations, hence, reported exceedance values are underestimates.

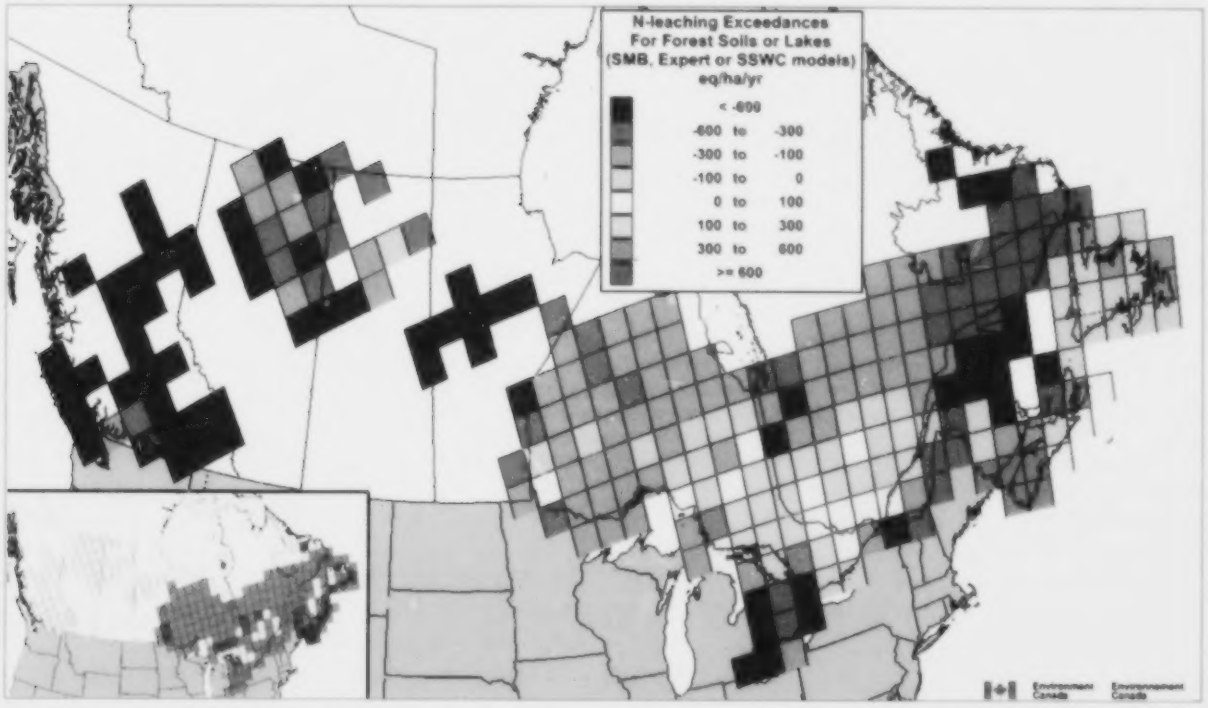


Figure 1.3: Aquatic or upland forest soil **N-leaching** critical load exceedances (wet + dry deposition in eq/ha/yr) for acidity (S+N) based on average deposition data from 1994-1998. Critical loads were calculated using either water chemistry models (i.e., "Expert" or "SSWC") or a forest soil model (i.e., "SMB"). The critical load value for a given square is either the 5th percentile lake value or the 5th percentile soil polygon value. The index map (lower left) indicates the model selected for each grid square: red = Expert (aquatic), yellow = SSWC (aquatic), green = SMB (upland forest soils). The forest soil component was obtained by laying the grid over the soil polygon exceedance map. The forest critical load map was produced by the Forest Mapping Working Group of the New England Governors/ Eastern Canadian Premiers (NEG/ECP) Secretariat in cooperation with Ontario, Environment Canada and Natural Resources Canada – Canadian Forest Service.

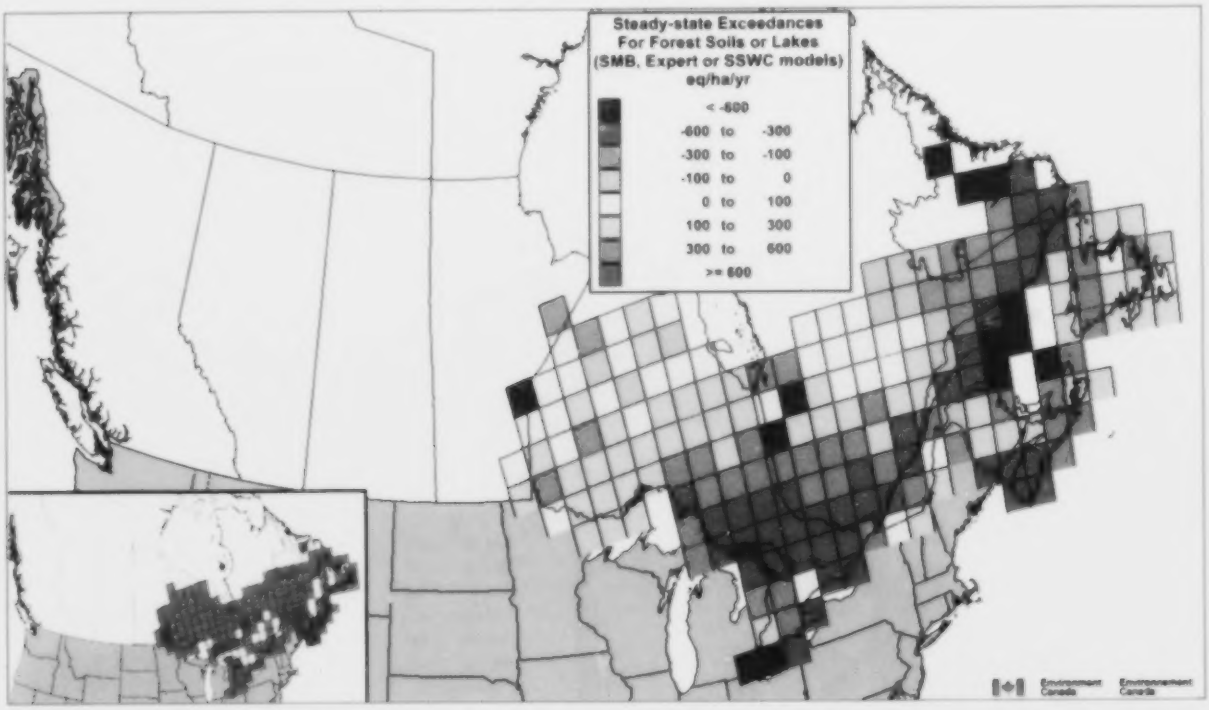


Figure 1.4: Aquatic or upland forest soil **Steady-state** critical load exceedances (wet + dry deposition in eq/ha/yr) for acidity (S+N) based on average deposition data from 1994-1998. Critical loads were calculated using either water chemistry models (i.e., "Expert" or "SSWC") or a forest soil model (i.e., "SMB"). The critical load value for a given square is either the 5th percentile lake value or the 5th percentile soil polygon value. The index map (lower left) indicates the model selected for each grid square: red = Expert (aquatic), yellow = SSWC (aquatic), green = SMB (upland forest soils). The forest soil component was obtained by laying the grid over the soil polygon exceedance map. The forest critical load map was produced by the Forest Mapping Working Group of the New England Governors/ Eastern Canadian Premiers (NEG/ECP) Secretariat in cooperation with Ontario, Environment Canada and Natural Resources Canada – Canadian Forest Service.

In regions where the critical loads are being or have been exceeded, the following effects are being observed:

Forest Effects

Acid deposition is removing essential nutrients such as the base cations, calcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}) and potassium (K^{+}), from soils via leaching. This loss of nutrients is negatively affecting the health and growth of trees and depleting the capacity of soils to neutralize future loadings of acid deposition over much of eastern Canada. Net losses of base cations from forested watersheds in eastern Canada are widespread, particularly for Ca^{2+}. At a site in south-central Ontario, soil Ca^{2+} pools were reported to have declined by up to 30% since the early 1980s[9]. Recent declines in sulphate deposition have resulted in lower net losses of Ca^{2+} and, in turn, this has slowed down the rate of soil acidification; however, widespread net losses of Ca^{2+} (and in some cases Mg^{2+}) are still occurring in eastern Canada.

Although the rate of soil acidification has slowed down, further reductions in acid deposition are needed to meet critical loads for upland forest soils and prevent base cation levels in soils from falling below levels considered unsuitable for forest health and productivity. Currently, many areas in eastern Canada receive levels of acid deposition that exceed critical loads. In Ontario, sugar maple growth has been observed to be lower in areas

[9]Watmough, S.A., Dillon, P.J., 2004. Major element fluxes from a coniferous watershed in central Ontario, 1983-1999. Biogeochemistry 67, 369-398.

where the critical load for soils is exceeded[10]. Analyses from the Research and Monitoring of Forest Ecosystems network in Québec show that, between the 1970s and the 1990s, hardwood and the coniferous stands located in areas where the critical loads were exceeded had a growth rate 30% lower than forest sites located in areas with no exceedances[11]. Even in the event of large reductions in acidifying emissions, recovery of soils from acidification (i.e. replacement of base cations) is likely to be extremely slow because the most important process for replacing base cations – primary weathering of bedrock – is slow.

Aquatic and Soil Chemistry

Many lakes in southeastern Canada are still acidified (i.e. have lost some or all of their capacity to neutralize acids) and many do not meet the critical load pH condition of ≥ 6, a key threshold for the sustenance of fish and other aquatic biota. In eastern Canada, between approximately 25% (New Brunswick) and 40% (Ontario) of sampled lakes had pH levels less than 6. These percentages include those lakes that have been naturally acidified by organic acids associated with dissolved organic carbon (DOC). These types of lakes occur widely in Nova Scotia and to a lesser extent in Newfoundland but are not common in the other provinces. In Nova Scotia, 80% of sampled lakes had pH levels less than 6 and it is estimated that natural organic acids would leave approximately 40% of these lakes incapable of attaining a pH of 6 with significant reductions in acidifying emissions. In most provinces, however, the percentage of lakes with pH <6 is a reasonable indicator of the effect of acidic deposition. Results from lake chemistry models suggest that approximately 500,000 - 600,000, or ~15%, of sensitive lakes in southeastern Canada (south of 52°N latitude) that were historically capable of having pH >6 will have pH <6 under levels of acid deposition similar to present conditions.

In many lakes, chemistry is responding to reductions in acidifying emissions (i.e. lakes are becoming less acidic) but several factors are acting to delay or diminish the response. For example, there is mounting evidence that the size of acid-neutralizing base cation reservoirs in watershed soils determines the extent to which acid deposition acidifies surface waters. Net losses of base cations from forested watersheds in eastern Canada are widespread, particularly for calcium (Ca^{2+}). Hence, the capacity of watersheds to neutralize acid deposition is declining concomitant with the decline in the acidity of deposition.

In addition, the release of sulphate into surface waters exceeds the amount of sulphate received via acid deposition in most eastern Canadian forested watersheds. Likely sources of this "extra" sulphate are desorption of sulphate bound to soil, release of sulphate during the decomposition of organic matter, and drought-induced mobilization of reduced sulphur stored in wetlands or similar landscape features. All of these processes generate acids. The original source of much of this soil-bound sulphur is past inputs from acid deposition. Surface water critical load models, which are based solely on current sulphate inputs from deposition, underestimate critical load exceedances in those watersheds that exhibit substantial net losses of sulphate.

Aquatic Biology

Algae, invertebrates and waterbird food chains continue to show acidification effects, particularly in lakes and rivers where fish communities have been impacted. Acidification effects often extend across trophic levels, altering the composition of biological communities and impacting ecosystem function. Impacts include direct acidity effects, metal toxicity, loss of prey, and reduced nutritional value of remaining prey. For example, most acid-sensitive invertebrate species are absent from lakes acidified below pH 6. Minnows and other small fish can be extirpated from small, acidified lakes and wetlands, causing important changes to the invertebrate food source of breeding waterbirds and other top predators. A general increase in the number of breeding fish-eating waterbirds (e.g. Common Loon, Common Merganser) was observed in much of southeastern Canada (i.e. Ontario,

[10] Watmough, S.A., 2002. A dendrochemical survey of sugar maple in south-central Ontario. Water, Air and Soil Pollution 136, 165-187.

[11] Ouimet, R., Duschesne, D., Houle, D., Arp, P.A., 2001. Critical load and exceedances of acid deposition and associated forest growth in the northern hard wood and boreal coniferous forests in Quebec, Canada. Water, Air and Soil Pollution: Focus 1, 119-134.

Quebec and Newfoundland). Recent observations from the Sudbury, Ontario region suggest that these increases may be related to improved habitat conditions in previously damaged lakes.

Elevated levels of mercury (Hg) in Common Loons, loon chicks and the fish they consume remain a cause for concern. Acidification of aquatic systems leads to increases in toxic methylmercury concentrations in water, sediment, and biota, and often results in elevated levels in the prey of fish-eating wildlife. Mercury concentrations in Common Loon adults, eggs, young and their fish prey tend to be higher in low pH lakes. Mercury concentrations in loons increase along a trajectory from west to east across southeastern Canada. High Hg levels in loons are associated with impacts to breeding productivity including reduced breeding success, reduced chick growth rates and modified chick behaviours which may increase mortality.

Atlantic salmon populations in rivers of the Southern Upland region of Nova Scotia continue to be severely impacted by acidification. Salmon in rivers with pH in the borderline toxicity range of pH 5.0 to 5.4 are at high risk of death due to sub-lethal effects which reduce feeding and growth, increase gill damage, and cause endocrine and osmoregulatory disruption. It is predicted that salmon from most Southern Upland Rivers will become extinct if adult survival rates remain at current low levels and pH recovery continues to be delayed.

Human Health

Recent epidemiological studies generally found small but significant associations between ambient aerosol acidity and the following outcomes: respiratory symptoms, impaired lung function, hospital admissions and emergency room visits, and premature mortality. Susceptible human sub-populations were identified for the different health outcomes. The toxicity of aerosol acidity might contribute to the associations between particulate matter (PM) and health effects. However, it is difficult to separate the effects of PM from that of aerosol acidity, because the measured components of PM were generally highly correlated with one another.

New clinical studies indicate that humans with asthma or allergies may be particularly sensitive to short-term exposure to acid aerosols alone, or to sequential exposure to sulphuric acid and ozone, compared with normal subjects. However, exposure levels in clinical studies were generally higher than levels measured in Canadian cities.

Results from recent animal toxicological studies suggest that exposure to acid aerosols can produce effects on immune defense mechanisms at concentrations close to those observed in eastern Canada. The effects of pollutant mixtures on human health endpoints can either increase or decrease compared with the effects of exposure to individual pollutants depending on the pollutants studied, the relative concentrations of individual pollutants in mixtures, and the endpoints measured.

2. What are the current and forecasted trends in acid-causing emissions?

Sulphur Dioxide

In Canada, total emissions of sulphur dioxide (SO_2) declined by approximately 50% between 1980 and 2000 and are projected to decline by an additional 4% between 2000 and 2020 (Figure 1.5). These emission forecasts assume that no emission reductions are taken beyond those agreed to in Canada as of 2003. In eastern Canada, emissions of SO_2 declined by 53% between 1985 and 2000, while in western Canada, emissions of SO_2 declined by 6% during this period. Between 2000 and 2020, emissions of SO_2 are predicted to decline by 21% in eastern Canada and increase by 15% in western Canada. SO_2 emissions in western Canada are predicted to exceed emissions in eastern Canada by 2010.

In the U.S., total emissions of SO_2 declined by approximately 40% between 1980 and 2000 and are predicted to decline by approximately 38% from 2000 levels in 2020 (Figure 1.5). These emission forecasts assume that no emission reductions are taken beyond those described in the Canada-U.S. Air Quality Agreement and agreed to as of 2003.

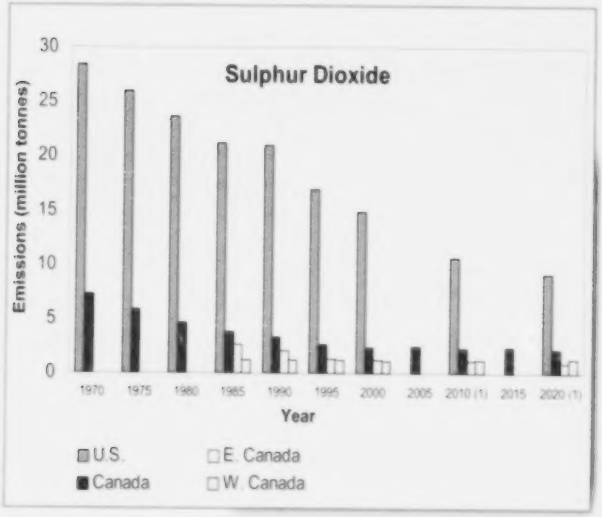


Figure 1.5: Estimated emissions of sulphur dioxide (SO_2) in the U.S. and Canada, including eastern (east of Manitoba) and western (west of Ontario) Canada. 1 - U.S. emissions forecasts are based on REMSAD emissions summaries.

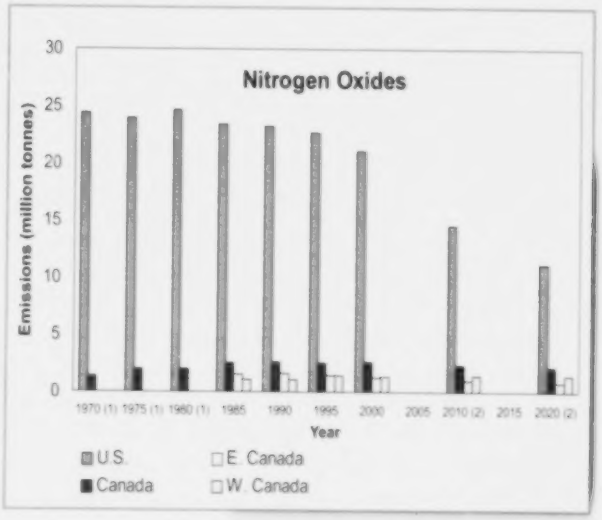


Figure 1.6: Estimated emissions of nitrogen oxides (NO_x) in the U.S. and Canada, including eastern (east of Manitoba) and western (west of Ontario) Canada. 1 - Canadian NO_x emissions for 1970 through 1980 are based on older methodologies and are not comparable to 1985 and beyond. 2 - U.S. emissions forecasts are based on REMSAD emissions summaries.

Nitrogen Oxides

In Canada, nitrogen oxides (NO_x) emissions were approximately constant between 1985 and 2000 but are predicted to decline by approximately 17% between 2000 and 2020 (Figure 1.6). These emission forecasts assume that no emission reductions are taken beyond those agreed to in Canada as of 2003. In eastern Canada, emissions of NO_x decreased by 17% between 1985 and 2000 and are predicted to decrease by approximately 39% between 2000 and 2020. In western Canada, NO_x emissions increased by 29% between 1985 and 2000 and are predicted to increase by approximately 5% between 2000 and 2020. As of 2000, emissions of NO_x in western Canada surpassed emissions in eastern Canada. Western Canadian emissions of NO_x are predicted to continue to exceed emissions from eastern Canada to 2020.

In the U.S., NO_x emissions declined slightly between 1985 and 2000 and are predicted to decline by approximately 47% from 2000 levels in 2020 (Figure 1.6). These emission forecasts assume that no emission reductions are taken beyond those described in the Canada-U.S. Air Quality Agreement and agreed to as of 2003.

3. Where are the major industrial sources of acid-causing emissions that affect Canadian ecosystems?

What are the major industrial source sectors of acid-causing emissions in Canada and the U.S.?

In Canada, major source sectors of acid-causing emissions are non-ferrous mining and smelting, electric power generation, upstream oil and gas and transportation.

Sulphur dioxide and nitrogen oxides emission source sectors in eastern Canada are concentrated along the Windsor–Quebec City corridor with hotspots also found in central Ontario, central Quebec, south-central New

Brunswick, east-central Nova Scotia and Newfoundland (Figure 1.7 and 1.8). The Windsor-Quebec City corridor is highly urbanized and has emissions source sectors that include thermal electric power generation and on-road transportation. The hotspots in central Ontario and central Quebec are associated with non-ferrous mining and smelting operations. The hotspots in south-central New Brunswick, east-central Nova Scotia and Newfoundland are associated with electrical power generation and other industrial emissions (e.g. mining and pulp and paper).

In western Canada, large SO_2 and NO_x emission source sectors are observed in Alberta and in defined hotspots in Manitoba and Saskatchewan. Emissions from Alberta are primarily from thermal electric power generation,

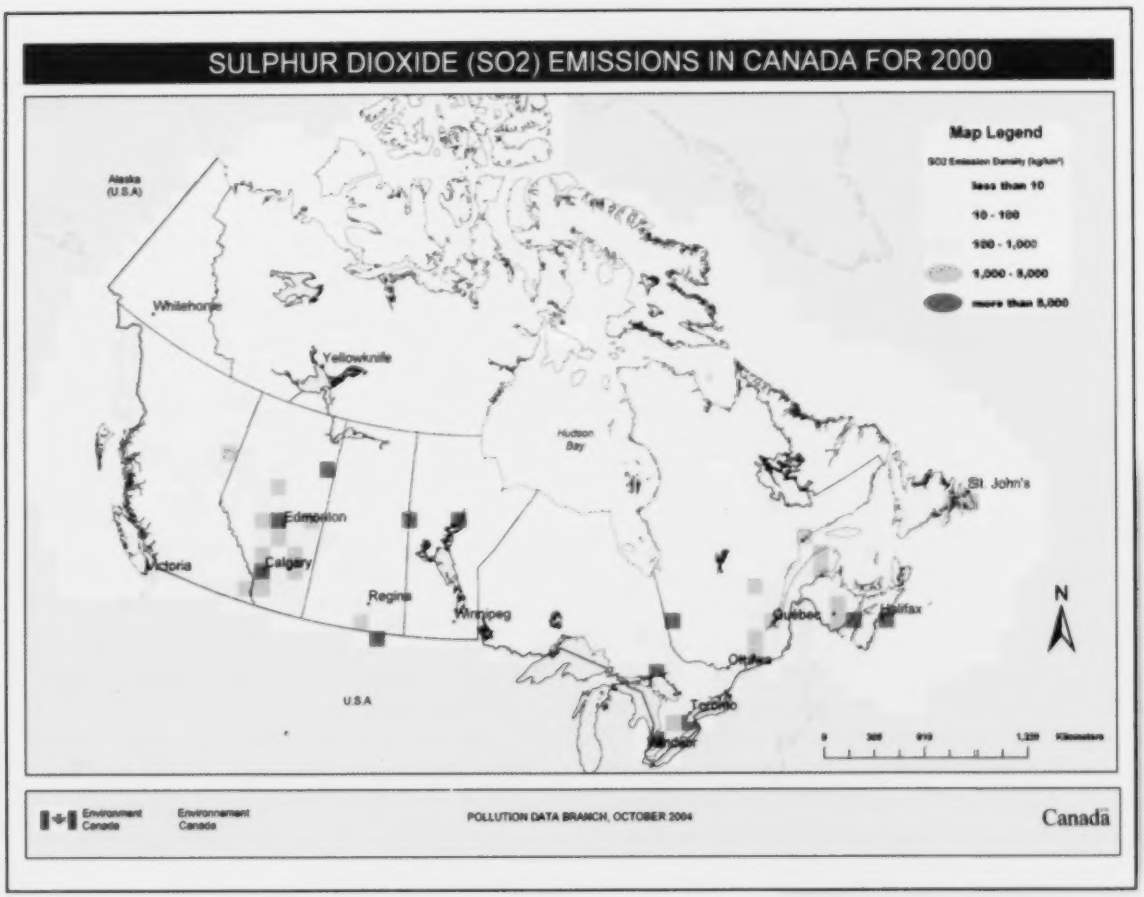


Figure 1.7: Distribution of sulphur dioxides (SO_2) emissions in Canada for 2000 (kg/km^2).

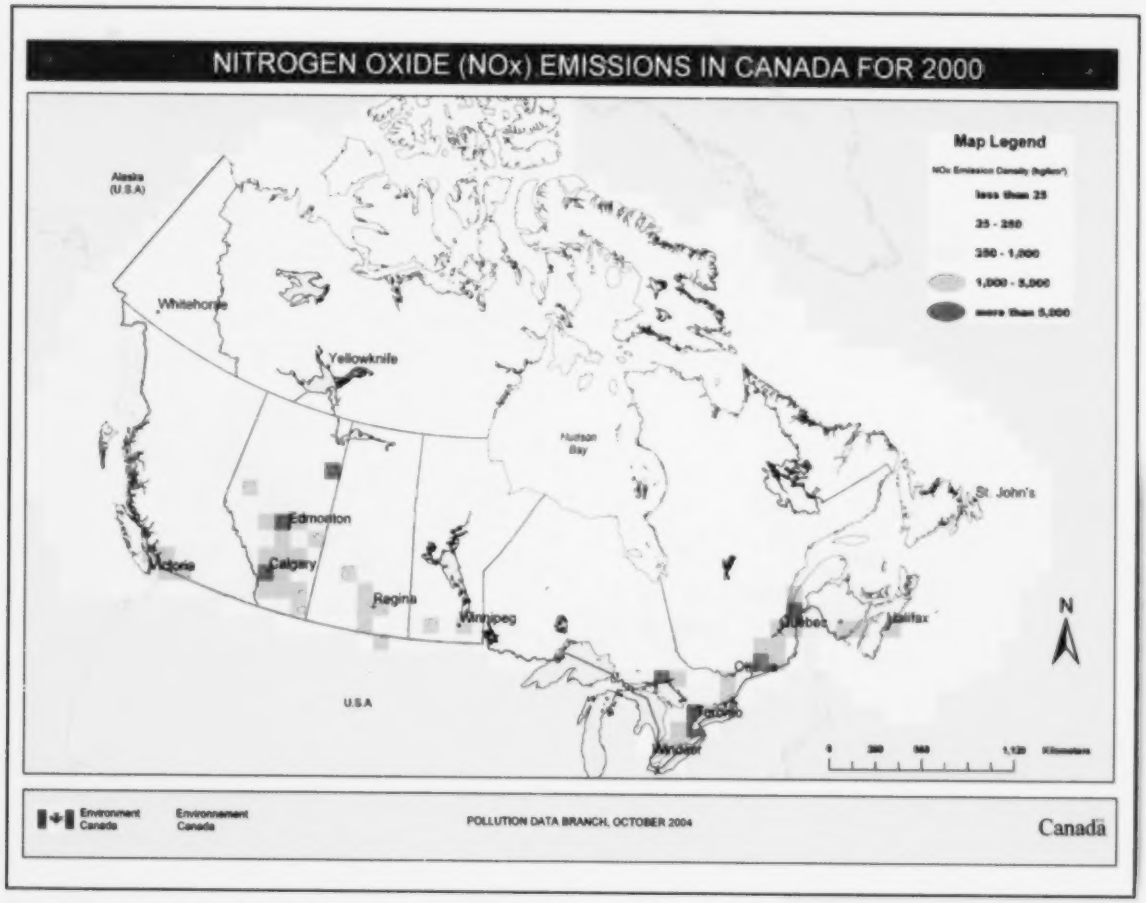


Figure 1.8: Distribution of nitrogen oxides (NO_x) emissions in Canada for 2000 (kg NO_2/km^2).

upstream oil and gas and petroleum refining. High emission areas in Saskatchewan are sites of thermal electric power generation. High emission areas in Manitoba are associated with non-ferrous mining and smelting operations.

In the U.S., major source sectors of acid-causing emissions are electric power generation and on-road vehicles. Major sources of sulphur dioxide and nitrogen oxides emissions in the eastern U.S. are located in a highly industrialized and urbanized area from southeast Ohio to the western part of Virginia and western Kentucky to central Tennessee[12].

[12] Subcommittee on Scientific Co-operation (SC2) – Air Quality Committee (2004) Canada-United States Transboundary PM Assessment. 129pp.

Brunswick, east-central Nova Scotia and Newfoundland (Figure 1.7 and 1.8). The Windsor-Quebec City corridor is highly urbanized and has emissions source sectors that include thermal electric power generation and on-road transportation. The hotspots in central Ontario and central Quebec are associated with non-ferrous mining and smelting operations. The hotspots in south-central New Brunswick, east-central Nova Scotia and Newfoundland are associated with electrical power generation and other industrial emissions (e.g. mining and pulp and paper).

In western Canada, large SO_2 and NO_x emission source sectors are observed in Alberta and in defined hotspots in Manitoba and Saskatchewan. Emissions from Alberta are primarily from thermal electric power generation.

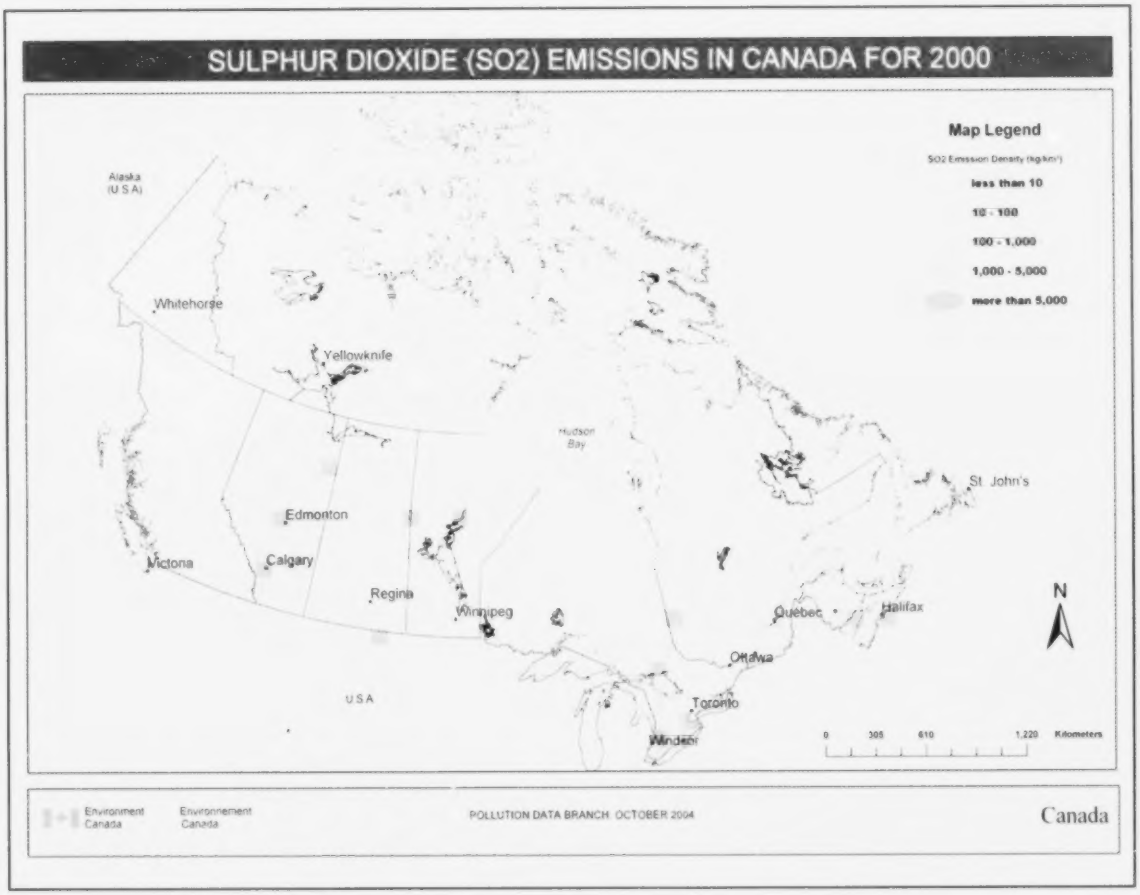


Figure 1.7: Distribution of sulphur dioxides (SO_2) emissions in Canada for 2000 (kg/km²).

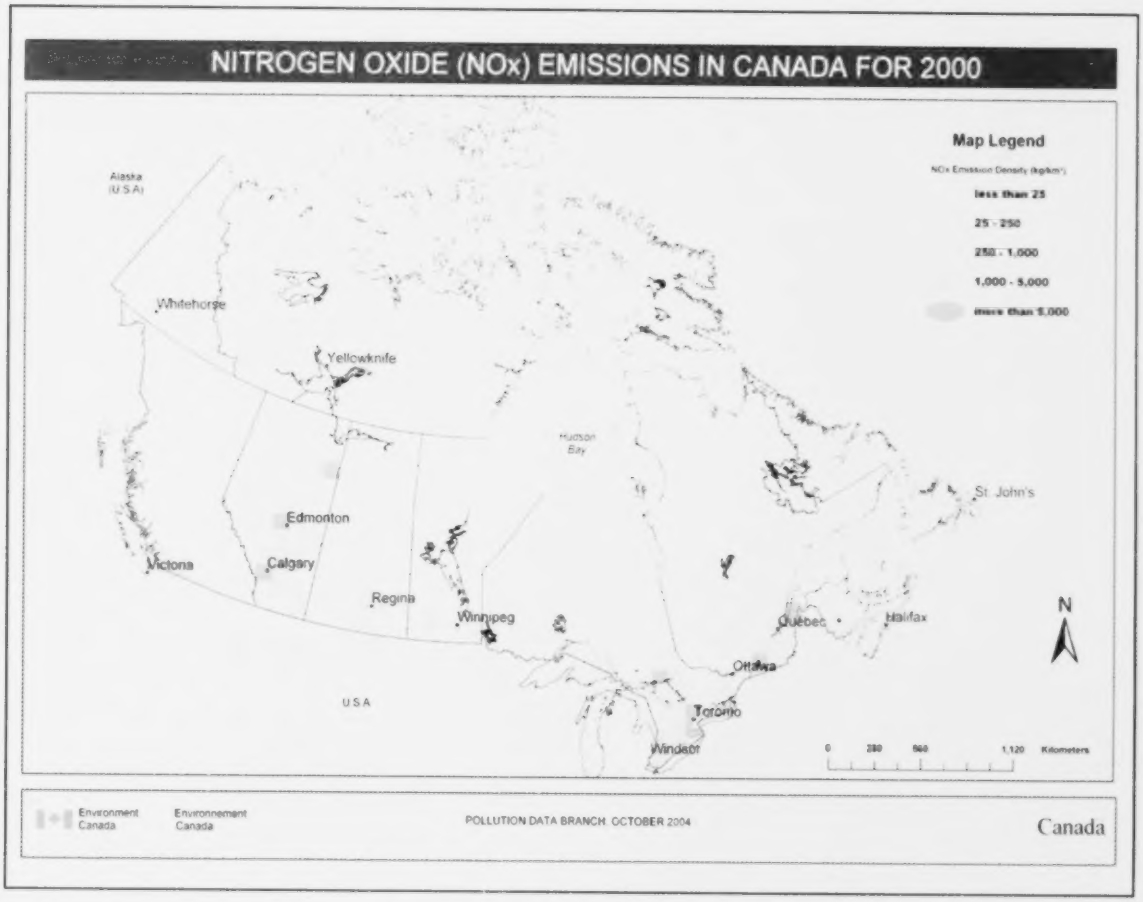


Figure 1.8: Distribution of nitrogen oxides (NO_x) emissions in Canada for 2000 (kg NO_x/km^2)

upstream oil and gas and petroleum refining. High emission areas in Saskatchewan are sites of thermal electric power generation. High emission areas in Manitoba are associated with non-ferrous mining and smelting operations.

In the U.S., major source sectors of acid-causing emissions are electric power generation and on-road vehicles. Major sources of sulphur dioxide and nitrogen oxides emissions in the eastern U.S. are located in a highly industrialized and urbanized area from southeast Ohio to the western part of Virginia and western Kentucky to central Tennessee[1].

[1] Subcommittee on Scientific Co-operation (SC2) – Air Quality Committee (2004) Canada-United States Transboundary PM Assessment. 129pp.

What are the major emission source regions that affect Canadian ecosystems?

Analyses of wet and dry deposition data, source attribution techniques and atmospheric models have enabled researchers to identify source regions of acid-causing emissions that affect Canadian ecosystems. Within the area of eastern Canada bounded by the Manitoba-Ontario border, Newfoundland, the Canada-U.S. border and 51° north latitude, Canadian sources emit less than 10% of total SO_2 and NO_x emissions in eastern North America; however, that same area of eastern Canada receives roughly 30% of total sulphate and nitrate wet deposition in eastern North America (Figure 1.9). This large imbalance is due to long range transport and subsequent wet deposition of Midwestern and eastern U.S. emissions on eastern Canada. It is estimated that between 45 and 70% of sulphate and nitrate wet deposition in eastern Canada is attributable to emission sources in the eastern U.S[13].

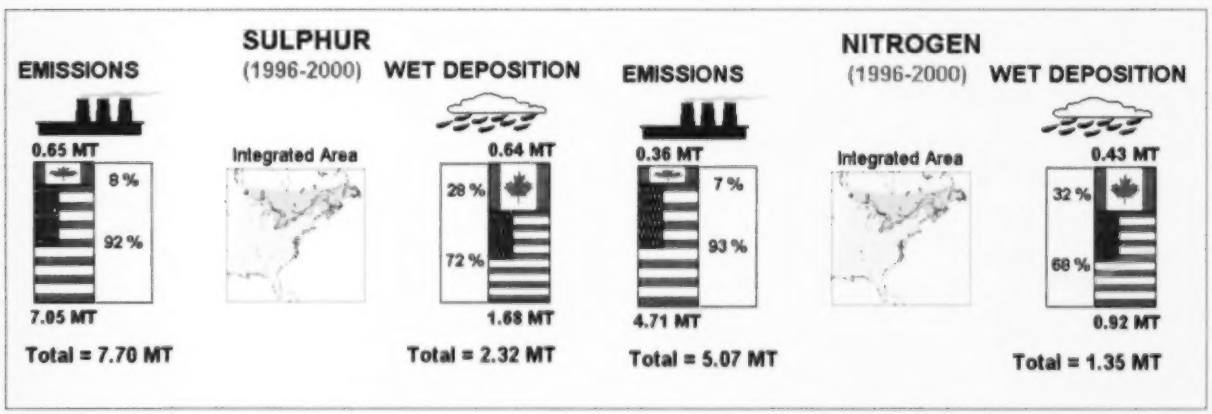


Figure 1.9: Five-year average (1996-2000) total emissions (megatonnes; MT) and wet deposition (MT) of sulphur and nitrogen over eastern Canada and the eastern U.S. (areas shown in map inset). The percentage values indicate the fraction of total eastern North American emissions and wet deposition in each country.

Wet and dry deposition data collected by the Canadian Air and Precipitation Monitoring Network (CAPMoN), combined with air mass trajectories, have been used to estimate the contribution of different emission source areas in North America to sulphur and nitrogen deposition at specific locations in Canada. In Ontario, Quebec and Nova Scotia, all CAPMoN measurement sites located within 200 km of the U.S. border are estimated to receive 50-70% of their sulphur and nitrogen deposition from emissions in the U.S. and from southern Ontario and southern Quebec (Figure 1.10). The remaining 30 to 50% of the sulphate and nitrate at CAPMoN sites is attributable to Canadian sources to the north, west and east of the measurement locations; areas to the east of each measurement site make the lowest contribution to acid deposition at any given site. U.S. emission sources in the Great Lakes, Ohio River Valley and U.S. Midwest states appear to have the largest impact on wet and dry deposition in eastern Canada (Figure 1.10).

[13]Based on mass balance calculations.

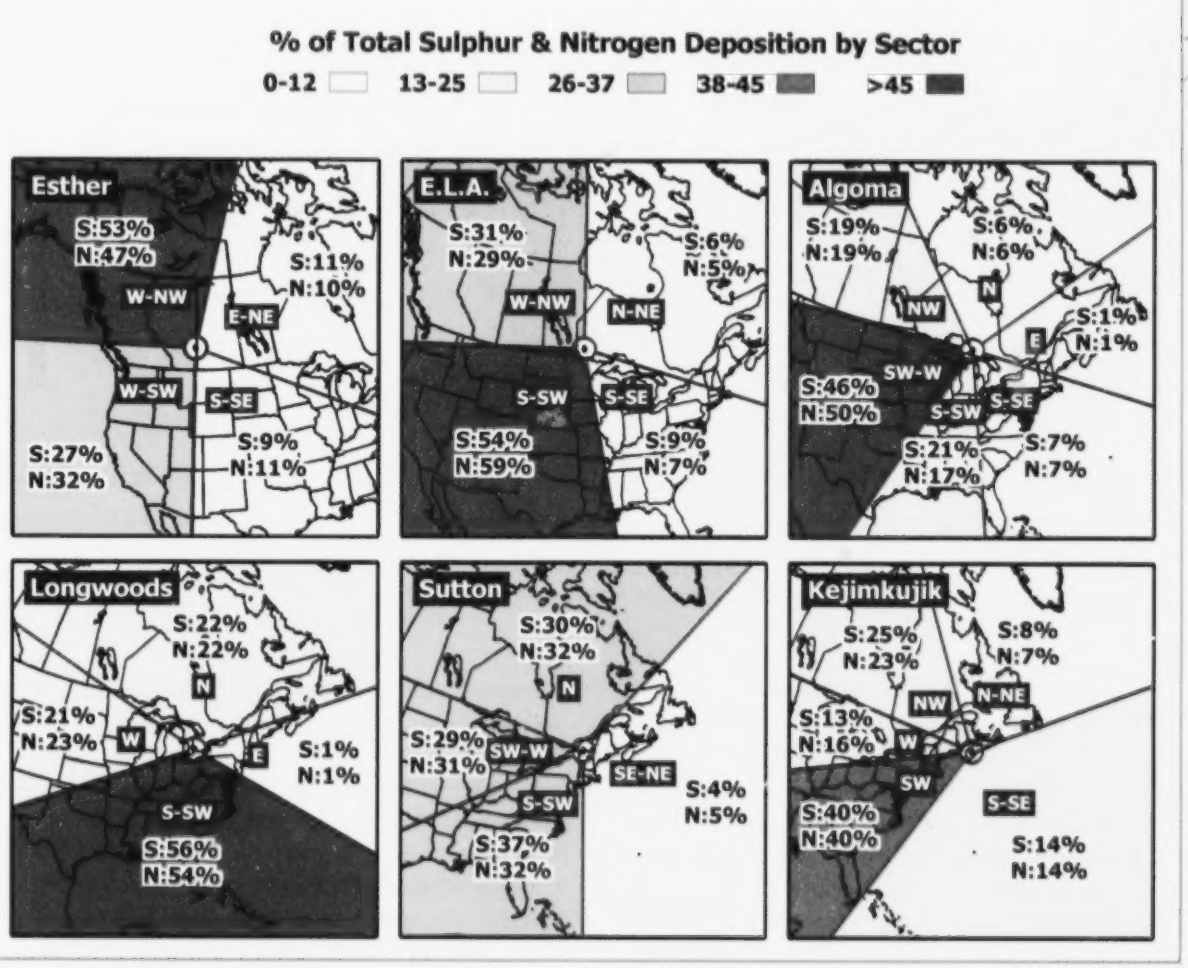


Figure 1.10: The percentage contribution of different source regions to total sulphur and nitrogen deposition at selected CAPMoN sites across Canada.

In western Canada, little measured data are available for estimating source attribution. At one measurement site in the prairies near the Alberta-Saskatchewan border, approximately 45-55% of wet and dry deposition is attributed to emission sources in central and northern Alberta/British Columbia (Figure 1.10). Sources in southern Alberta, southern BC and the northwest U.S. account for approximately 30% of the wet and dry deposition while sources east of the site account for approximately 30% of the remaining wet and dry deposition.

Atmospheric chemistry models have been used to determine emission sources that affect Canadian ecosystems. For eastern Canada, results from the ADOM (Acid Deposition and Oxidant Model) suggest that SO_2 and NO_x emissions from both Canada and the U.S. contribute to acid deposition in eastern Canada. This

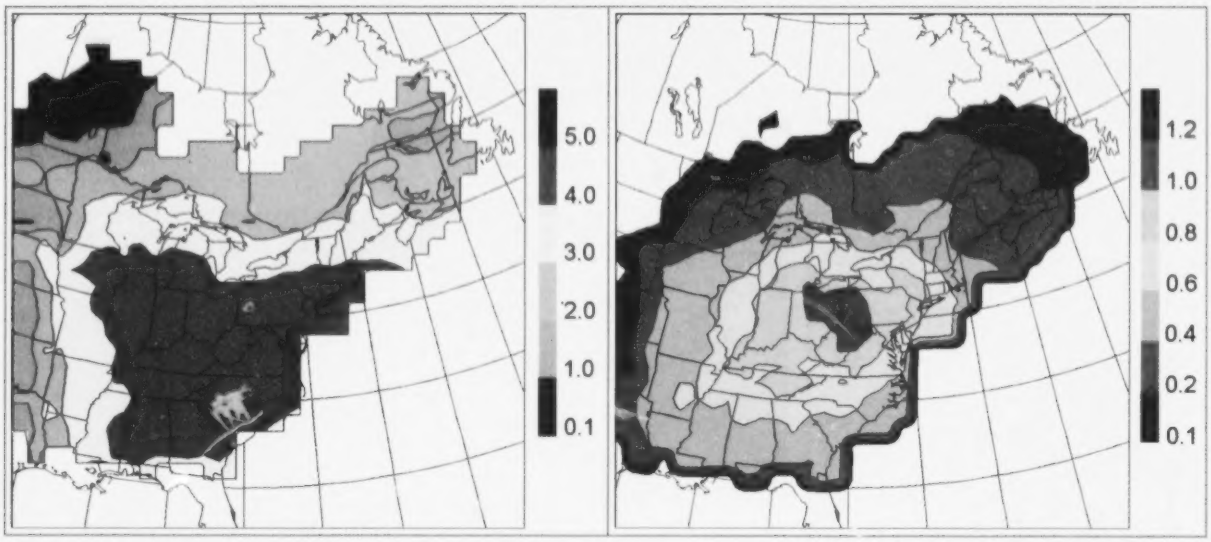


Figure 1.11: Plots of (a) actual difference and (b) percent difference in predicted annual sulphate wet deposition (units of kg SO_4^{2-}/ha/yr) between ADOM SO_2 emission control scenarios "PST2010A"[14] and "PST2010B"[15]. Panel (b) was calculated as (PST2010A - PST2010B) / CCUSA2. The corresponding difference in U.S. SO_2 annual emissions between the two scenarios is 611 Ktonnes/yr, or 5% of U.S. emissions from "CCUSA2"[16] scenario levels. (Note: 1 kg SO_4^{2-}/ha/yr is equal to 20.8 eq/ha/yr)

conclusion is derived from comparisons of different emission scenarios for Canada and the U.S. For example, Figure 1.11 illustrates the change in sulphate wet deposition resulting from a further 5% decrease in U.S. SO_2 emissions from those projected for 2010 under the Canada-U.S. Air Quality Agreement (AQA) (reductions equal to 611 Ktonnes/yr) and no change in emissions from Canada beyond those described in the AQA. Annual sulphate wet deposition in eastern Canada is predicted to be reduced from over 0.8 kg SO_4^{2-}/ha/yr in southwestern Ontario to 0.1-0.4 kg SO_4^{2-}/ha/yr in the Atlantic provinces, central Quebec and Ontario. In percentage terms (Figure 1.11b), this corresponds to a 1-4% reduction in sulphate wet deposition in eastern Canada relative to the 2010 AQA scenario, with the largest percent decreases occurring in southern Ontario, southern Quebec, New Brunswick, and Nova Scotia.

Figure 1.12, on the other hand, illustrates the change in sulphate wet deposition resulting from a 32% decrease in SO_2 emissions from Canada from projected 2010 levels (equal to 619 Ktonnes/yr) and no change in emissions from the U.S. For this scenario, annual sulphate wet deposition in eastern Canada is predicted to be reduced by 0.1-3.0 kg SO_4^{2-}/ha/yr or by up to 15% in percentage terms, with the largest percentage decreases occurring along the Sudbury, Ont.-Rouyn, Quebec corridor and near Prince Edward Island. Decreases as large as 5% also occur in the northeastern U.S. as a result of the reduction in Canadian emissions. Since the actual total decrease in

[14] In scenario "PST2010A" the province of Ontario is assumed to reduce annual SO2 emissions by a further 50% from the 1985 ECARP cap (885 to 443 Ktonnes SO2/yr), the province of Quebec by a further 45% (500 to 275 Ktonnes/yr), and New Brunswick and Nova Scotia/PEI each by a further 25% (175 to 131 and 194 to 146 Ktonnes/yr, respectively). The United States is assumed to reduce its annual SO2 emissions by a further 55% from 2010 levels described in the Canada-U.S. Air Quality Agreement (12,446 to 5,578 Ktonnes/yr).

[15] This scenario is very similar to the "PST2010A" scenario. The only difference is that U.S. SO_2 emissions are reduced to 40% of 2010 levels, that is, a 60% reduction, as compared to the 55% reduction considered in scenario "PST2010A".

[16] Scenario "CCUSA2" predicts levels of deposition in 2010 using SO_2 emission levels that would occur when the 1985 Eastern Canada Acid Rain Program (ECARP) and Title IV, Phases 1 and 2 of the 1990 U.S. Clean Air Act Amendments are fully implemented.

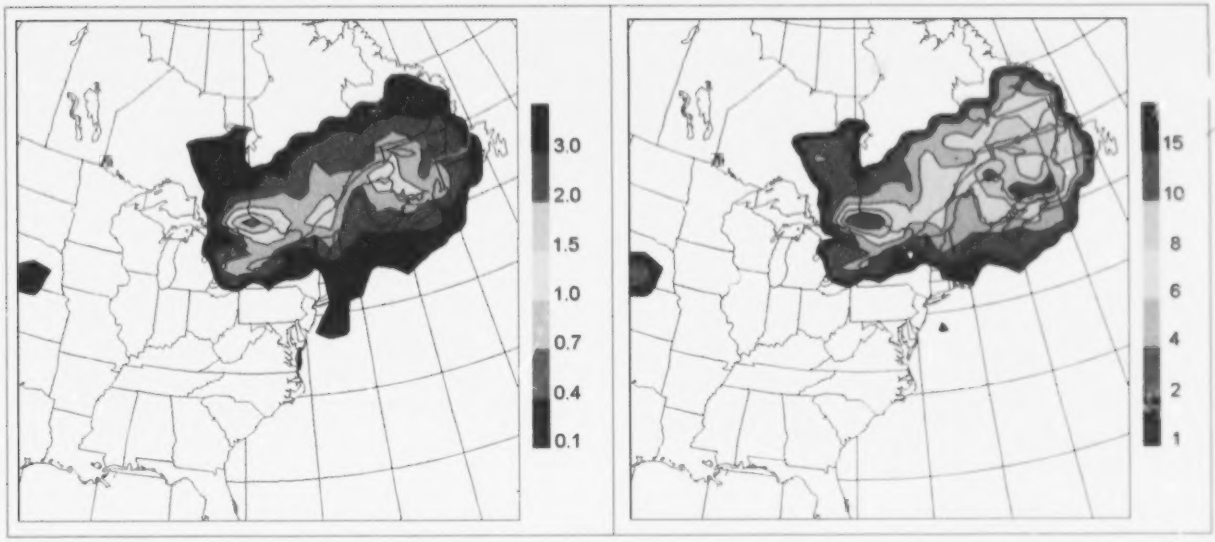


Figure 1.12: Plots of (a) actual difference and (b) percent difference in predicted annual sulphate wet deposition (units of kg SO_4^{2-}/ha/yr) between ADOM SO_2 emission control scenarios "CCUSA2" (see footnote 16) and "5CONLY"[17]. Panel (b) was calculated as (CCUSA2 - 5CONLY) / CCUSA2. The corresponding difference in Canadian SO_2 annual emissions between the two scenarios is 619 Ktonnes/yr, or 32% from "CCUSA2" scenario levels. (Note: 1 kg SO_4^{2-}/ha/yr is equal to 20.8 eq/ha/yr).

SO_2 emissions is nearly identical for these two scenarios, comparison of the corresponding responses suggests that a one tonne reduction of Canadian SO_2 emissions has a greater impact in Canada than a one tonne reduction in the U.S.

For western Canada, results of the REgional Lagrangian Acid Deposition (RELAD) and AES Lagrangian Sulphur Model (ALSM) models suggest that Canadian SO_2 and NO_x emission sources are the primary contributors to acid deposition. This conclusion is based on examination of continental emission maps and comparisons of model outputs to measured data. For example, Figure 1.13 shows the 30-year mean annual sulphate and nitrate wet deposition fields predicted by RELAD based on 1995 emissions. From west to east, the local peaks in sulphate wet deposition, evident in Figure 1.13a, are associated with the Calgary-Edmonton corridor, the Fort McMurray area of Alberta, Flin Flon, Manitoba and Thompson, Manitoba. In contrast, peaks in nitrate wet deposition (Figure 1.13b) are predicted to occur in Alberta, along and to the east of the Calgary-Edmonton corridor, consistent with the different source types contributing to SO_2 and NO_x emissions in western Canada.

[17]This simple scenario is very similar to the "CCUSA2" scenario; the only difference is that Canadian SO_2 emissions in the eastern-Canada Sulphur Oxide Management Area (or SOMA) are rolled back by 50% from the provincial caps mandated under the 1985 ECARP. The ADOM domain approximates the SOMA for southeastern Canada.

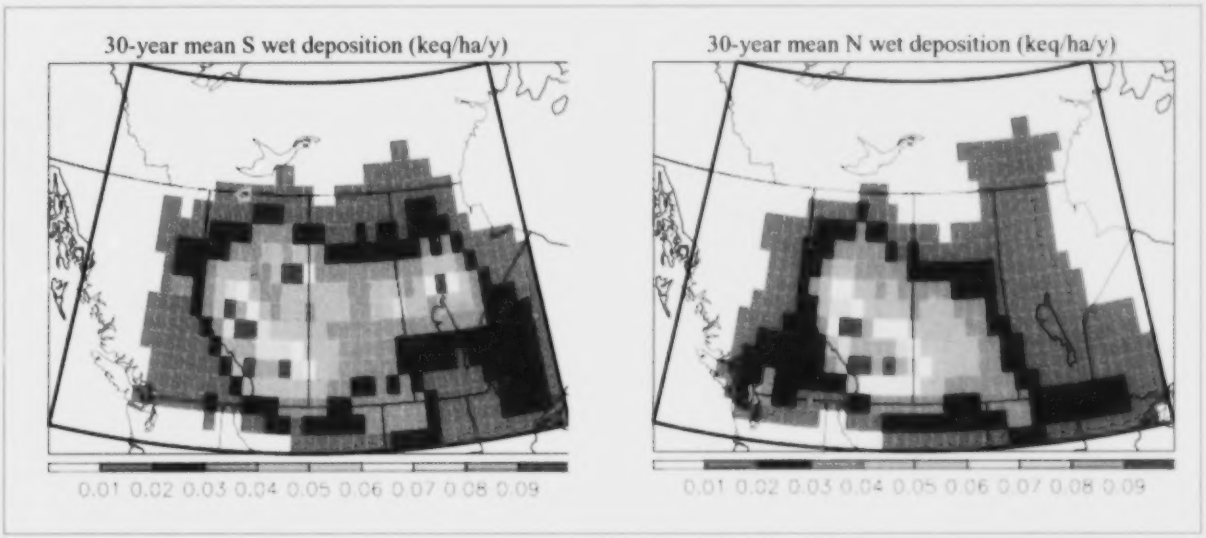


Figure 1.13: Wet deposition of sulphur (keq/ha/yr) and nitrogen (keq/ha/yr) predicted by RELAD based on the average meteorological conditions from 1971 to 2000 and Canadian emissions data from 1995. The RELAD domain is indicated by the dark black outline. Each grid cell is 1° of latitude by 1° of longitude in size. (Note: 1 keq/ha/yr of wet sulphur deposition is equal to 48.1 kg/ha/yr and 1 keq/ha/yr of wet nitrogen deposition is equal to 62.1 kg/ha/yr)

4. Are further emissions reductions necessary in Canada and the U.S.? If so, by how much, and from where, do emissions need to be reduced?

Since levels of sulphur and nitrogen deposition currently exceed critical loads for aquatic and upland forests over a vast area of eastern Canada, there is a clear need to further reduce SO_2 and NO_x emissions that impact this region. In western Canada, data on critical loads are insufficient to make specific conclusions about the need to reduce emissions that impact this region.

Using the most realistic future-year SO_2 emission scenarios data available to date, the ADOM model predicts that sulphate critical loads for aquatic ecosystems[18] will still be exceeded in central Ontario and Quebec, even if SO_2 emissions from both Canada and the U.S. are reduced by a further 50% beyond what they have agreed to achieve in Canada-U.S. Air Quality Agreement (AQA) in 2010. This result is consistent with the predictions of a similar ADOM modelling scenario published in the 1997 assessment[1]. Only for an SO_2 emission control scenario that constitutes a further 75% reduction in SO_2 emissions from those currently agreed to by Canada and the U.S. for 2010 in the AQA, are the 1997 aquatic critical load exceedances predicted to be completely eliminated in eastern Canada. It is important to note that the 1997 aquatic critical loads have been revised in this assessment and new critical loads have been estimated for both aquatic and upland forest ecosystems. These new critical loads are lower than those published in the 1997 assessment in many areas and higher in a few areas; hence, reductions in SO_2 emissions greater than 50% or 75% could be required to meet new, lower critical loads.

Finally, it is important to note that a 75% reduction in SO_2 emissions in eastern Canada and the eastern U.S. (needed to meet 1997 aquatic critical loads) translates into a greater reduction in SO_2 in terms of megatonnes (MT) from the U.S. than from Canada. This is because emissions of SO_2 from eastern Canada constitute only 9% of eastern North American emissions (based on 2000 emission estimates; see Figure 1.9).

[18] Using critical loads published in the 1997 Canadian Acid Rain Assessment.

The ADOM model results suggest however, that on a tonne-by-tonne basis, a reduction of one MT in emissions from eastern Canada would produce a larger reduction in deposition in eastern Canada than would a one MT reduction in emissions from the eastern U.S. This is because a larger proportion of each MT emitted by Canadian sources is deposited in Canada compared to a MT emitted by U.S. sources. Thus, although emissions from the eastern U.S. need to be reduced for critical loads to be met in eastern Canada (since 45% or more of sulphur deposition in eastern Canada is attributable to U.S. emissions), on a tonne-by-tonne basis, it is more efficient to reduce a tonne of emissions in Ontario and Quebec than a tonne in the Ohio River Valley or northeastern states. However, a very large percentage reduction in both countries is required reach the goal of entirely eliminating aquatic critical load exceedances in eastern Canada.

The deposition data analyses, although not able to estimate the level of SO_2 and NO_x emissions reductions needed to meet critical loads, are consistent with the ADOM modelling results. The analyses suggest that emission reductions are needed in eastern Canada, the Midwestern and eastern U.S. and western Canada to reduce acid deposition in eastern Canada. Within eastern Canada, the largest emission reductions appear to be needed in Ontario, and Quebec. In the U.S., the largest reductions are needed in the Midwest states in order to reduce deposition in northwestern Ontario, in the Great Lakes states and the Ohio River Valley in order to reduce deposition in the remainder of Ontario and Quebec, and in the states of the Ohio River Valley, and the East Coast in order to reduce deposition in Atlantic Canada. Complementary modelling results suggest that the most efficient place to reduce emissions that affect Canada would be in Canada, the northern tier of the Midwest, Great Lakes, Ohio River Valley, and East Coast states. In fact, emission reductions in the southern tier of the American states would have very little benefit to acid deposition levels in Canada.

5. Will NO_x reductions compensate for the need to reduce SO_2? Is nitrogen saturation a problem and how will changing NO_x emissions impact on Canadian ecosystems?

For watersheds in eastern Canada, sulphur deposition is still clearly the predominant acidifying agent; only a small number of watersheds demonstrate acidification that can be ascribed to nitrogen and recent trend information suggests that acidification at these sites may be declining. Critical load analyses, that separate the two acidifying components, show that there are some cases where reductions in sulphate deposition alone can be effective in decreasing exceedances, but in other cases, reductions in both sulphate and nitrogen deposition will be necessary (e.g. Muskoka River watershed in Ontario). Hence, according to our current understanding of the role of nitrogen in acidification, reductions in NO_x emissions will not compensate for the need to reduce SO_2.

Although nitrogen saturation is not a problem in most of eastern Canada, the capacity for terrestrial watersheds to retain nitrogen deposition is finite. It is reasonable to hypothesize that a dramatic decrease in nitrogen deposition may protect many sites from ever becoming nitrogen saturated. At this point in time, however, it is not possible to establish a particular threshold of nitrogen deposition that would prevent future nitrogen saturation in Canada.

6. Are there other factors that might decrease the efficacy of emission reductions?

There are several factors that might decrease the efficacy of emission reductions. These factors include the following:

- Leaching of base cations decreases the capacity of soils to neutralize future acid loadings – i.e. increases the susceptibility of soils to acid deposition.
- Under the oxygen-limited conditions that characterize wetland sediments, sulphate from deposition is converted to sulphides, which are stable storage products for sulphur. When the water level goes down during dry periods, oxygen penetrates into formerly anaerobic wetland soils

resulting in sulphur oxidation and release of sulphate. Hence, climatic changes can cause temporal variability in sulphate fluxes from wetland-dominated watersheds and confound the expected relationship between decreased sulphate deposition and sulphate concentrations in lakes and rivers.

- Declines in inputs of sulphate to soils, as a result of reductions in acid deposition, are expected to cause the release (desorption) of sulphate previously stored in soils. The release of stored sulphate into lakes and rivers confounds the effects of SO_2 emission reductions. The amount of sulphate stored in soils and available for release is dependent on the characteristics of the soil and the concentration of sulphate in deposition. In watersheds, such as Plastic Lake in the Experimental Lakes Area of northwestern Ontario, stored sulphate is predicted to be released into surface waters for up to several decades[19].
- Mineralization (the transformation of organic sulphur into inorganic sulphate) and immobilization (the transformation of inorganic sulphate into organic sulphur) are microbial processes that occur concurrently within the soil. Mineralization may be a source of sulphate to drainage waters if sulphate release from organic sulphur compounds exceeds the rate of sulphate immobilization. A number of studies have suggested that mineralization is responsible for net sulphate export from watershed soils in Canada.
- When terrestrial ecosystems become nitrogen saturated (i.e. receive more nitrogen than they can use), nitrogen forms acid which can leach from the soil and acidify surface waters.

7. Are affected ecosystems recovering in response to past reductions in SO_2 emissions? If so, how is recovery proceeding? If not, why, when, and under what conditions, can we expect recovery to acceptable environmental objectives? What role do NO_x emissions play?

At present, full scale chemical and biological recovery has not been observed in any ecosystem but there are encouraging signs of improvement.

Lakes in eastern Canada located near smelters, that have dramatically reduced their emissions for a significant period of time (e.g. at Sudbury and to a lesser extent at Rouyn-Noranda), provide the most definitive evidence of chemical recovery (increasing pH and/or alkalinity). Lakes in southeastern Canada that are predominantly affected by long-range sources of acid deposition show a general decline in sulphate but a relatively smaller compensating increase in pH and/or alkalinity. Factors such as declining base cations in precipitation and watershed soils, drought-induced mobilization of stored sulphur, and damaged in-lake alkalinity generating mechanisms are constraining (most likely delaying) chemical recovery; biological recovery will necessarily lag behind chemical recovery. In the end, lakes will probably recover to a state that is more dilute (lower ion concentrations and therefore more sensitive) than their pre-acidification state.

It is likely that many lakes will recover to a different state than their original one. Algae and zooplankton communities in some highly damaged lakes (e.g. Sudbury area) are responding to acidity reductions but recovery is constrained by metal toxicity and re-acidification events. Experimental acidification research shows that aquatic ecosystems can be resilient to acid-stress but that recovery will often be complex and slow and may result in permanently altered biological communities. The increases in numbers of loons and some other waterbirds breeding in southeastern Canada are encouraging signs of recovery but observations of declining loon breeding success will be cause for concern if trends continue and are widespread. Habitat suitability for waterbirds breeding in small lakes and wetlands of southeastern Canada is predicted to improve for fish-eating birds (e.g. Common Loon, Common Merganser) and small fish (e.g. minnows) and decline for some insectivorous diving ducks (e.g. Common Goldeneye), with the degree of change related to the prevalence and magnitude of chemical change.

With respect to soil chemistry, evidence of lake recovery in some regions supports the notion that soil chemistry may also be recovering because soil chemistry (i.e. base

[19] Eimers, M.C., Dillon, P.J., Schiff, S.L. 2004. Sulphate flux from an upland forested watershed in south-central Ontario, Canada. Water Air and Soil Pollution 152, 3-22.

cation concentrations) largely controls the acidity of lake water. However, empirical and modelling evidence suggests that base cation reservoirs in soils throughout southeastern Canada continue to decline; a phenomenon which threatens the long-term sustainability of forests and impedes the recovery of lakes and rivers. In order to achieve recovery of terrestrial ecosystems, the level of acid deposition would need to decline to the point where inputs of base cations to soils from weathering of bedrock and deposition equals or exceeds the loss of base cations by acid leaching.

In terms of the role played by NO_x emissions, as mentioned previously, for watersheds in eastern Canada, sulphur deposition is still clearly the predominant acidifying agent (usually accounting for >90 % of acid leaching from soils). However, nitrate does contribute to soil acidification at a few sites such as the Muskoka River Watershed in Ontario.

8. What are some of the socio-economic benefits of acid deposition mitigation?

Acid deposition has negative impacts on lakes, rivers, soils, forests, wildlife, biodiversity, buildings, and human health. The socio-economic benefits of decreasing or avoiding these negative impacts could be significant. Furthermore, reductions in PM and ozone that accompany reductions in acidifying emissions would have a wide range of environmental, economic and human health benefits.

At current levels of acid deposition, it is estimated that over half a million cubic meters of wood is being lost from forests in Atlantic Canada each year due to soil nutrient loss. At market prices, the value of this lost wood is in the hundreds of millions of dollars per year. The decline in fish in lakes and rivers of eastern Canada has significant impacts on the fishing industry, particularly for Atlantic salmon. The effects of declining fish populations will also have non trivial effects for recreational fishermen who spent $1.9 billion on fishing in 1996.

The corrosive impacts of acid deposition can be significant, particularly for electrical transmission towers. Acid deposition can reduce the life expectancy of transmission towers by 50% and greatly increase repair frequency with an annual cost of thousands of dollars per tower.

There is some indication that damages to the overall integrity of the environment and ecosystem could be amongst the most economically significant impacts of acid deposition. In 1996, Canadians spent over $12 billion on nature related activities. This $12 billion in expenditures likely represents only the tip of the iceberg of the full value Canadians place on the environment.

Acid aerosols, PM and ozone can lead to a variety of adverse human health effects ranging from subtle changes and mild symptoms to hospital admissions and premature mortality. The elderly, children and people suffering from cardio-respiratory conditions such as asthma appear to be the most susceptible groups to the effects of outdoor air pollution. These impacts place a high cost on the medical system.

Reductions in emissions of SO_2 and NO_x will also have considerable benefits beyond acid deposition reductions (see below).

9. What are the linkages and implications of other environmental problems with acid deposition, in particular, ozone and particulate matter formation, climate change and mercury?

Particulate Matter

Particulate matter (PM) shares precursor emissions (SO_2 and NO_x) with acid deposition. The relationship between ambient levels of precursor gases and $PM_{2.5}$ is complicated. For SO_2, long-term trends in ambient levels of $PM_{2.5}$, particle sulphate and SO_2 track each other closely. This suggests that reductions in emissions of SO_2 will lead to reductions in concentrations of $PM_{2.5}$.

The relationship between ambient levels of NO_x and $PM_{2.5}$ is also complicated; however, there is evidence that under NH_3-limited conditions, reductions in SO_2 emissions with no concomitant change in NO_x and NH_3 emissions can result in an increase in PM levels due to the enhanced formation of ammonium nitrate particles.

Thus, SO_2 and NO_x emission reductions should occur at the same time in order to reduce PM.

Ozone

Tropospheric ozone (O_3) primarily shares the precursor emission of NO_x with acid deposition. The formation of tropospheric ozone occurs via a series of chemical reactions the most common of which involves nitrogen oxides, volatile organic compounds (e.g. solvents), and sunlight. In general, increases in the emissions of NO_x result in increases in concentrations of tropospheric ozone on the regional scale; however, in urban areas, ozone levels seem to be more influenced by VOC emissions (i.e. VOC emission controls are more effective for reducing ozone than NO_x emission controls) and increases in NO_x emissions lead to decreases in ozone levels, the so-called "NO_x disbenefit". The non-linear relationship between concentrations of NO_x, VOCs and ozone production complicates the forecasting of NO_x emission reductions on ozone levels.

Climate Change

Acid deposition and climate change are linked in several ways: 1) Fossil fuel combustion is the primary anthropogenic source of carbon dioxide (CO_2), an important greenhouse gas, as well as SO_2 and NO_x which are precursors of acid deposition. Consequently, reductions in the use of fossil fuels will benefit both issues. 2) SO_2 and NO_x contribute to the formation of particulate matter and ground-level ozone which directly and indirectly impact on the radiation balance of the atmosphere (i.e. the amount of heat and light that are reflected into space or towards earth). For the most part, ground-level ozone is understood to exert a warming effect on climate and sulphate is understood to exert a cooling effect on climate at seasonal scales; 3) A changing climate may change the quantities and patterns of precipitation which could then affect the transport dispersion, deposition and release of acid-causing pollutants; and, 4) a warmer climate may also increase biogenic emissions of NO_x, SO_x and VOCs. For example, increases in surface temperatures can stimulate increases in emissions of NO_x from soil bacteria. Despite the fact that acid deposition and climate change are linked, our capacity to predict the effects of increases or decreases in emissions of SO_2 and NO_x on climate is limited.

Mercury

Emissions of mercury and other hazardous pollutants work in synergy with SO_2 and NO_x to enhance the deleterious effects of acid deposition on fish and wildlife. As levels of acidity in surface waters increase, the rate of conversion of mercury (Hg) into toxic and bioavailable methyl mercury (MeHg) increases. Recent studies have shown that significant declines in atmospheric deposition of sulphate and Hg are associated with declines in Hg levels in fish and fish-consuming wildlife such as the Common Loon. Thus, reductions in emissions of acid-causing emissions would benefit the mercury issue.

10a. Where do we need to continue atmospheric and effects monitoring?

Atmospheric monitoring needs to be continued at all current measurement locations and increased in both western and eastern Canada to continue to track the effectiveness of emission controls, provide data for the assessment of exceedances of critical loads, and to support human health studies. The highest priority for new deposition monitoring sites is in Ontario and Newfoundland since there are insufficient numbers of monitoring sites currently operating in these provinces. A high priority also needs to be given to the placement of sites in western Canada, where acid-causing emissions are projected to increase in the future but where very little deposition monitoring is taking place.

Aquatic and soil chemistry monitoring needs to continue and increase at sites that have exceeded, continue to exceed, or have the potential to exceed critical loads for acid deposition. Monitoring of surface waters (e.g. large and small lakes, rivers, wetlands) is necessary to determine trends in surface water chemistry such as pH, sulphate, nitrate and base cation concentrations. Data on these variables are essential for determining the extent to which ecosystems are being acidified, recovering from acidification, or are susceptible to damage from acidification in the future. Data on these variables also indicate the extent to which acid deposition is impacting or could impact biodiversity.

Monitoring of aquatic biota, wildlife and forests must continue in areas where critical loads are exceeded or have been exceeded. Integrated chemical and biological monitoring in these areas is necessary to determine how changes in surface water and soil chemistry are affecting biodiversity and ecosystem productivity and, if necessary, to support the development of management actions for ecosystem recovery.

10b. Where should we focus future research efforts for acid deposition?

Emissions

Research needs to focus on the development of improved statistics, methodologies and emission factors to determine emissions from the on-road transportation, agriculture, bakeries, and residential wood combustion sectors.

Currently, a large percentage of the emission rates used to estimate emissions from industrial and non-industrial sources are based on measurements performed in the U.S. a number of years ago. There is a need to update these emission rates to reflect Canadian weather, fuels characteristics, operations, industrial processes, and emission control equipment and practices.

There is also a need to improve emission inventories for elements that govern total acidity of deposition. For some effects modelling, the controlling atmospheric input is not a particular acidifying species such as sulphate or nitrate but rather total acidity. Unfortunately, prediction of pH is particularly difficult because it requires the concentrations or depositions of all acidifying species to be estimated correctly, including total ammonia and base cations. Base cations pose a particular problem because they are present in crustal material (i.e. fugitive dust) in varying proportions and emissions of bulk crustal material are still not well characterized.

Atmospheric Deposition Monitoring and Analysis

Future efforts in the area of atmospheric and precipitation monitoring should focus on improving the capacity to characterize total sulphur and nitrogen deposition. Improvements are especially necessary for nitrogen because current dry deposition estimates are biased low in the absence of several unmeasured species. Although current acid deposition models predict both dry and wet deposition, it has not been possible until very recently to make measurement-based estimates of dry deposition on a routine basis at multiple sites. As a consequence it has not been possible to accurately assess the role of dry deposition in acid deposition, accurately determine the contribution of sulphur and nitrogen to total acidity, nor evaluate model predictions of dry deposition directly. The increased accuracy in the improved total deposition measurements will also enhance Canada's ability to determine when and where critical loads are being exceeded.

Future efforts should also focus on increasing the number of sites at which wet and dry deposition are measured in eastern and western Canada to permit accurate characterization of atmospheric deposition across the country. The increased number of sites would enable the determination of the spatial distribution of wet and dry deposition across all of Canada and, in combination with U.S. data, across all of North America. It will also allow us to fill large gaps in knowledge as to where critical loads are being exceeded and increase the capacity to assess human exposure to acid aerosols. It will also provide a stronger basis for determining whether emission reduction programs in Canada and the U.S. are being effective at reducing acid deposition where needed. This is particularly important in western Canada where, due to the paucity of measurements, such questions cannot be answered.

In addition, future research efforts should be focused on developing more sophisticated data analysis techniques to determine source-receptor relationships. This will improve our capacity to assess the efficacy of new emission reductions in Canada and the U.S.

Forests and Soils

The negative effects of decreasing soil fertility on forest health are becoming increasingly supported by recent studies. These observations are raising concerns about the effects of acid deposition on the productivity of Canadian forests located on poorly buffered soils.

Quantification of the relationship between acid deposition and forest health remains difficult, however. Further research is necessary to elucidate this relationship.

One of the major uncertainties, with respect to quantifying the time it will take for forest soils and surface waters to recover, is the rate of primary weathering and the size of the exchangeable pool of base cations. For this reason, determination and validation of these variables should be a focus of future research.

The release of excess sulphur from soils may be partly responsible for the lack of recovery observed in lakes and rivers in eastern Canada and is an additional source of acid that is not accounted for in critical load models. Consequently, future research should focus on elucidating the processes governing transformation and export of sulphur from terrestrial watersheds to surface waters in the context of decreasing sulphur deposition.

Finally, although nitrogen saturation does not appear to be a problem in eastern Canada, the capacity of forests to accumulate atmospherically deposited nitrogen is finite. Detection of nitrogen saturation in surface waters must be the subject of monitoring efforts in existing research sites in both eastern and western Canada.

Aquatic Chemistry

With respect to aquatic chemistry, future research should focus on implementing a robust survey framework across Canada and supporting research on soils.

Currently, our capacity to assess the status of lake chemistry in Canada is severely limited by the necessity of compiling existing monitoring data without regard to site selection. Ideally, a statistically-based regional survey of lakes such as the stratified random sampling designs that have been employed in the U.S. and Nordic Europe would be preferable to assess current status. Such a lake survey, if occasionally repeated (approximately once per decade – a rotating schedule of lake sampling would be instituted so that a tenth of the lakes were sampled every year) and integrated with an organized hierarchy of temporal monitoring and site-specific research, would provide all the information needed to accurately estimate resource-level status and change, identify the causes of change, and predict future conditions.

Aquatic and Terrestrial Biota

Ecosystem recovery is a primary objective of emission reductions. Understanding and predicting biological responses to emission reductions and consequent habitat recovery is necessary for evaluating the adequacy of controls and to direct conservation and management efforts. Identifying the nature and rate of biological recovery requires multi-disciplinary research, integrated habitat and biological monitoring, and robust predictive models. Information derived from these studies is essential for understanding how persistent biodiversity losses influence ecosystem function and for determining the emission reductions needed to meet ecosystem objectives.

The pace and nature of ecosystem recovery are influenced by many other environmental stressors. Future research efforts should include a focus on the interactions of acidification with other ecosystem stressors and those interactions should be integrated into model refinements. Relevant stressors include those related to atmospheric or climatic issues, metals and other toxics, land use/forest management practices and invasive species. Understanding the interactions between acidification and other stressors will provide more realistic predictions of ecosystem recovery.

A biomonitoring framework compatible with the lake chemistry survey described above would be the ideal foundation for estimating resource-level status and change and for predicting future biological conditions. With such a framework, efforts to understand biological recovery mechanisms could be specifically focused to investigate particular mechanisms and ecosystem stressors. The results of these more intensive investigations would be required to properly interpret observed trends and refine predictive models.

Acidification effects on terrestrial wildlife have received relatively little attention to date. Losses of available calcium sources have the potential to impact terrestrial invertebrates and the wildlife on which they depend (e.g. songbirds). Data-based investigations of potential effects

should continue but should be supplemented by targeted field investigations.

Options for managing or actively rehabilitating acidified lakes, wetlands and rivers should be identified and explored with regard to their effectiveness, costs and overall efficiency.

The Integrated Assessment Model (IAM) is used to predict chemical and biological responses to various scenarios of SO_2 emission reductions. This model is an important integrative assessment tool and needs to be maintained and improved to reflect the new knowledge developed above.

Atmospheric Chemistry Models

For Canada, there are a number of areas in acid deposition modelling where further research is needed. Firstly, it has not been possible until very recently to evaluate directly the predictions of dry deposition by models. Efforts are needed to acquire appropriate data sets of sulphur and nitrogen dry deposition and use these to evaluate model predictions.

Some of the key properties of ammonia and nitric acid, needed to accurately predict wet and dry deposition and smog formation, require further investigation. The need for this information is becoming increasingly important as policy-makers seek scientifically defensible predictions of the consequences of changes in emissions of multiple pollutants (e.g., SO_2, NO_x, and ammonia) on air quality and acid deposition.

As emission control scenarios become more realistic, the level of effort required to prepare emissions data for acid deposition models becomes increasingly large. Consequently, there is a need for ready access to sophisticated and flexible emissions processing systems and, data on emissions of primary particulate matter including crustal material (i.e. dust).

To evaluate acid deposition model performance against newer sets of air chemistry and precipitation chemistry measurements, it is also necessary to compile year-long files of meteorological data for input to the acid deposition models.

All of the acid deposition models discussed in this assessment calculate deposition for grid widths ranging from 91 to 127 km. In some situations (e.g. near major sources of emissions), the use of smaller grid spacing and improved spatial resolution of emissions data would improve the accuracy of model predictions.

Socio-economics

Although environmental economic research is evolving, there are still large gaps in our understanding of the nature and value of acid deposition impacts. Despite the fact that some economic-evaluation modelling capacity currently exists (e.g. the Environment Canada's Air Quality Valuation Model), economic-evaluation models for acid deposition do not adequately account for environmental benefits resulting from abatement. Hence, future research efforts should focus on quantifying the benefits and costs associated with acid deposition effects on forest growth and productivity, recreational fishing, wildlife consumption and biodiversity.

Conclusions

While Canada has been very successful at reducing acid-causing emissions, acid deposition is still affecting the Canadian environment and the health of Canadians. The results of this assessment confirm that although levels of acid deposition have declined in eastern Canada over the last several decades, approximately 21-75% of eastern Canada, corresponding to approximately 0.5-1.8 million km^2, continues to receive levels of acid deposition in excess of critical loads according to best and worst case scenarios, respectively.

It is estimated that on the order of a further 75% reduction in SO_2 emissions will be required from Canada and the U.S., beyond those agreed to for 2010, in order to protect eastern Canadian ecosystems from damage by acid deposition. At present, there is insufficient data on the capacity of western Canadian ecosystems to assimilate acid deposition without being harmed, hence, it is not possible to accurately assess the extent to which acid deposition is affecting ecosystems in the west.

Future research and monitoring will be required to verify the effectiveness of emission reductions and better understand the complex and long-term impacts of, in

some cases, irreversible damage caused by acid deposition. The presence of acid-sensitive geology and increasing emissions of SO_2 and NO_x suggests that new monitoring efforts should expand into the western provinces to ensure that acid deposition does not damage ecosystems in this region.

2004 Canadian Acid Deposition Science Assessment: Summary of Key Results

Editor/Lead Author:
Heather A. Morrison
Senior Science Advisor, Acid Rain Scientific Assessment and Integration Branch
Environment Canada
4905 Dufferin Street
Downsview, Ontario M3H 5T4
Canada

Contributing Authors:
Lead Authors of Assessment *(listed by chapter below)*

2004 Canadian Acid Deposition Science Assessment

Editor:
Heather A. Morrison
Senior Science Advisor, Acid Rain Scientific Assessment and Integration Branch
Environment Canada
4905 Dufferin Street
Downsview, Ontario M3H 5T4
Canada

Assistant Editor:
Silvina Carou
Air Quality Science Officer
Scientific Assessment and Integration Branch
Environment Canada
4905 Dufferin Street
Downsview, Ontario M3H 5T4
Canada

Chapter 1 - Introduction
Heather A. Morrison
Senior Science Advisor, Acid Rain Scientific Assessment and Integration Branch
Environment Canada
4905 Dufferin Street
Downsview, Ontario M3H 5T4
Canada

Chapter 2 - Emissions of Pollutants related to Acid Deposition in North America
David Niemi
Head, Emissions Inventory Reporting and Outreach
Criteria Air Contaminants
Environment Canada
351 St Joseph Boulevard
Gatineau, Quebec K1A 0H3
Canada

Chapter 3 - Atmospheric Response to Past Emission Changes
Lead Author:
Robert Vet
Physical Scientist
Measurements and Analysis Research
Air Quality Research Branch
Environment Canada
4905 Dufferin Street
Downsview, Ontario M3H 5T4
Canada

Contributing Authors:
Jeff Brook
Research Scientist
Processes Research
Air Quality Research Branch
Environment Canada
4905 Dufferin Street
Downsview, Ontario M3H 5T4
Canada

Chul-Un Ro
Physical Scientist
Measurements and Analysis Research
Air Quality Research Branch
Environment Canada
4905 Dufferin Street
Downsview, Ontario M3H 5T4
Canada

Mike Shaw
Physical Scientist
Measurements and Analysis Research
Air Quality Research Branch
Environment Canada
4905 Dufferin Street
Downsview, Ontario M3H 5T4
Canada

Julie Narayan
Data Analysis Scientist
Measurements and Analysis Research
Air Quality Research Branch
Environment Canada
4905 Dufferin Street
Downsview, Ontario M3H 5T4
Canada

Leiming Zhang
Dry Deposition Scientist
Measurements and Analysis Research
Air Quality Research Branch
Environment Canada
4905 Dufferin Street
Downsview, Ontario M3H 5T4
Canada

Michael D. Moran
Research Scientist
Modelling and Integration Research
Air Quality Research Branch
Environment Canada
4905 Dufferin Street
Downsview, Ontario M3H 5T4
Canada

Maris Lusis
Chief
Measurements and Analysis Research
Air Quality Research Branch
Environment Canada
4905 Dufferin Street
Downsview, Ontario M3H 5T4
Canada

Chapter 4 - Current and Proposed Emission Control Programs: How will acid deposition be affected?
Michael D. Moran
Research Scientist
Modelling and Integration Research
Air Quality Research Branch
Environment Canada
4905 Dufferin Street
Downsview, Ontario M3H 5T4
Canada

Chapter 5 - Effects on Forests and Watershed Soils
Lead Author:
Daniel Houle
Research Scientist – Acid Rain
Environment Canada
105, rue McGill, 8th Fl
Montréal, Québec H2Y 2E7
Canada
and
Department of Forest Research
Quebec Ministry of Natural Resources, Wildlife and Parks
2700, rue Einstein
Sainte-Foy, Québec G1P 3W8
Canada

Contributing Authors:
Shaun Watmough
Postdoctoral Fellow
Environmental and Resource Studies
Trent University
Peterborough, Ontario K9J 7B8
Canada

Rock Ouimet
Researcher of Soil Science and Forest Nutrition and Associate Professor
Department of Forestry
University of Laval and
Department of Forest Research
Quebec Ministry of Natural Resources, Wildlife and Parks
2700 rue Einstein
Sainte-Foy, Québec G1P 3W8
Canada

Catherine Eimers
Researcher
Environmental and Resource Studies
Trent University
Peterborough, Ontario K9J 7B8
Canada

Robert Boutin
Research Officer
Forest Soil Processes
CFS/LFC/RES
Natural Resources Canada
1055 P.E.P.S. Street
P.O. Box 3800
Ste-Foy, Quebec G1V 4C7
Canada

Rodney J. Foster
Research Scientist
CFS/GLFC/FEEPR
Natural Resources Canada
1219 Queen Street East
Sault Ste. Marie, Ontario P6A 5M7
Canada

Mike B. Lavigne
Ecophysiologist
Forest Resources
Natural Resources Canada, P.O. Box 4000
Fredericton, New Brunswick E3B 5P7
Canada

David Paré
Research Scientist - Forest Soil Processes
Forest Ecosystems Program
Natural Resources Canada
1055 P.E.P.S. Street, P.O. Box 3800
Ste-Foy, Quebec G1V 4C7
Canada

Catherine Sainte-Marie
Research Group on Forest Ecology – Inter-university
University of Quebec in Montreal
P.O. Box 8888,
Succ. Centre-ville
Montréal, Québec H3C 3P8
Canada

Suzanne Couture
Project Leader, Acid Rain
River Ecosystems Research
Environment Canada
105 McGill Street, 7th floor
Montréal, Quebec H2Y 2E7
Canada

Christian Gagnon
Research Scientist, Geochemistry
River Ecosystems Research
Environment Canada
105 McGill Street, 7th floor
Montréal, Quebec H2Y 2E7
Canada

Jean-David Moore
Department of Forest Research
Quebec Ministry of Natural Resources, Wildlife and Parks
2700 rue Einstein
Sainte-Foy, Québec G1P 3W8
Canada

Chapter 6 - Effects on Aquatic Chemistry and Biology
Editors/Lead Authors:

Dean S. Jeffries
Research Scientist
Human Impacts on Aquatic Ecosystem Processes
Environment Canada
867 Lakeshore Road
P.O. Box 5050
Burlington, Ontario L7R 4A6
Canada

Donald K. McNicol
Head, Integrated Programs
Canadian Wildlife Service – Ontario Region
Environment Canada
49 Camelot Drive
Ottawa, Ontario K1A 0H3
Canada

Russ C. Weeber
Acid Rain Biologist
Canadian Wildlife Service – Ontario Region
Environment Canada
49 Camelot Drive
Ottawa, Ontario K1A 0H3
Canada

Contributing Authors:

Peter G. Amiro
Biologist
Diadromous Fish Division
Bedford Institute of Oceanography
1 Challenger Drive
Dartmouth, Nova Scotia B2Y 4A2
Canada

Dermot Antoniades
Post Doctoral Fellow
Department of Geology
University of Toronto
22 Russell St.
Toronto, Ontario M5S 3B1
Canada

Michelle F. Bowman
Postdoctoral Fellow
University of Toronto & Ontario Ministry of Environment
Dorset Environmental Science Centre
1026 Bellwood Acres Road
Dorset, Ontario P0A 1E0
Canada

Rodney W. Brook
Anatidae Consulting
11 Cremona Place
Ottawa, Ontario K2G 1A2
Canada

Alexandra Bourne
Water Quality Specialist
Water Quality Management Section
Manitoba Water Stewardship
123 Main Street
Winnipeg, Manitoba R3C 1A5
Canada

Neil Burgess
Wildlife Toxicologist
Canadian Wildlife Service - Atlantic Region
Environment Canada
6 Bruce St.
Mount Pearl, Newfoundland & Labrador A1N 4T3
Canada

Richard Carignan
Professor
Department of Biological Sciences
University of Montreal
P.O. Box 6128
Montréal, Québec H3C 3J7
Canada

Louise Champoux
Ecotoxicologist
Species at Risk Division
Environment Canada
1141 route de l'Église, 9th floor
Sainte-Foy, Quebec G1V 4H5
Canada

Lo Chiang Cheng
Greenhouse Gas
Environment Canada
351 St. Joseph Boulevard
Gatineau, Quebec K1A 0H3
Canada

Thomas A. Clair
Research Scientist
Canadian Wildlife Service, Biological Science
Environment Canada
17 Waterfowl Lane
Sackville, New Brunswick E4L 1G6 -
Canada

Suzanne Couture
Project Leader, Acid Rain
Environment Canada
River Ecosystems Research
105 McGill Street, 7th floor
Montréal, Quebec H2Y 2E7
Canada

Peter J. Dillon
Professor
Environmental and Resource Studies
Trent University
Peterborough, Ontario K9J 7B8
Canada

Marianne S.V. Douglas
Associate Professor
Department of Geology
University of Toronto
22 Russell Street
Toronto, Ontario M5S 3B1
Canada

Jacques Dupont
Departmental Head
Aquatic Environment Information Service
State of the Environment Monitoring Department
Quebec Ministry of the Environment
675 East Rene-Levesque Boulevard
7th floor, Quebec, Quebec G1R 5V7
Canada

Jill Franklyn
Aquatic Ecologist
Human Impacts on Aquatic Ecosystem Processes
Environment Canada
867 Lakeshore Road
P.O. Box 5050
Burlington, Ontario L7R 4A6
Canada

Christian Gagnon
Research Scientist, Geochemistry
River Ecosystems Research
Environment Canada
105 McGill Street, 7th floor
Montréal, Quebec H2Y 2E7
Canada

Mallory Gilliss
Coordinator
Sciences and Reporting
Air Sciences Section
New Brunswick Department of Environment and Local Government
Marysville Place
20 McGloin Street
Fredericton, New Brunswick E3A 5T8
Canada

Murray Hilderman
Environmental Ecologist
Air and Soil Sciences
Saskatchewan Environment
224 - 3211 Albert Street
Regina, Saskatchewan S4S 5W6
Canada

Bronwyn Keatley
Researcher
Paleoecological Environmental Assessment and Research Laboratory
Department of Biology
Queen's University
Kingston, Ontario K7L 3N6
Canada

Wendel (Bill) Keller
Senior Environmental Scientist - Northern Lakes
Co-operative Freshwater Ecology Unit
Ontario Ministry of the Environment
1222 Ramsey Lake Road
Sudbury, Ontario P3E 2C6
Canada

David A. Kirk
Executive Director
Aquila Applied Ecologists
C.P. 87
Carlsbad Springs, Ontario K0A 1K0
Canada

Stéphane Légaré
Acid Rain Biologist
Canadian Wildlife Service-Quebec Region
Environment Canada
1141 route de l'Église
C.P. 10100
Sainte-Foy, Québec G1V 4H5
Canada

Shannon A. MacPhee
Environmental Co-op Undergraduate Program
Department of Environmental Sciences
University of Guelph
Guelph, Ontario N1G 2W1
Canada

Denis Masse
Management of Wildlife and Habitats
Mauricie National Park
2141, Chemin St-Paul
Saint-Mathieu-du-parc,
Québec G0X 1N0
Canada

Fariborz Norouzian
Human Impacts on Aquatic Ecosystem Processes
Environment Canada
867 Lakeshore Road
P.O. Box 5050
Burlington, Ontario L7R 4A6
Canada

Andrew Paterson
Scientist, Inland Lakes
Dorset Environmental Science Centre
Ontario Ministry of the Environment
1026 Bellwood Acres Road
P.O. Box 39, Dorset, Ontario P0A 1E0
Canada

Reinhard Pienitz
Professor
Paleolimnology-Paleoecology Laboratory
Centre of Northern Studies and the Department of Geography
University of Laval
Québec, Québec G1K 7P4
Canada

Bev Raymond
Environmental Quality Guidelines Scientist
Research Coordination and Application
Environment Canada
700, 1200 West 73rd Avenue
Vancouver, British Columbia V6P 6H9
Canada

Ron A. Reid
Dorset Environmental Science Centre
Ontario Ministry of the Environment
Dorset, Ontario P0A 1E0
Canada

Kathleen M. Ruhland
Paleoecological Environmental Assessment
and Research Laboratory
Department of Biology
Queen's University
Kingston, Ontario K7L 3N6
Canada

Anton M. Scheuhammer
Metals Researcher
Wildlife Toxicology
Environment Canada
1125 Colonel By Drive, Raven Road
Carleton University
Ottawa, Ontario K1A 0H3
Canada

John P. Smol
Professor
Department of Biology
Queen's University
116 Barrie St.
Kingston, Ontario K7L 3N6
Canada

Ed Snucins
Lake Rehabilitation Biologist
Cooperative Freshwater Ecology Unit
Department of Biology
Laurentian University
Sudbury, Ontario P3E 2C6
Canada

Keith M. Somers
Biostatistician
Trent University and Dorset Environmental Science Centre
Ontario Ministry of the Environment
Dorset, Ontario P0A 1E0
Canada

Michael A. Turner
Limnological Research Scientist
Environmental Science Division
Fisheries and Oceans Canada
501 University Crescent
Winnipeg, Manitoba R3T 2N6
Canada

Alexander P. Wolfe
Førsteamanuensis, Kvartærgeologi (Associate Professor of Quaternary Geoscience)
University Centre in Svalbard
Box 156
Longyearbyen N-9171
Norway

CHAPTER 7 - RECOVERY OF AQUATIC ECOSYSTEMS
Editors/Lead Authors:
Russ C. Weeber
Acid Rain Biologist
Canadian Wildlife Service – Ontario Region
Environment Canada
49 Camelot Drive
Ottawa, Ontario K1A 0H3
Canada

Dean S. Jeffries
Research Scientist
Human Impacts on Aquatic Ecosystem Processes
Environment Canada
867 Lakeshore Road
P.O. Box 5050
Burlington, Ontario L7R 4A6
Canada

Donald K. McNicol
Head, Integrated Programs
Canadian Wildlife Service – Ontario Region
Environment Canada
49 Camelot Drive
Ottawa Ontario K1A 0H3
Canada

Contributing Authors:
Peter G. Amiro
Biologist
Diadromous Fish Division
Bedford Institute of Oceanography
1 Challenger Drive
Dartmouth, Nova Scotia B2Y 4A2
Canada

Rod G. Bradford
Diadromous Assessment Species at Risk Biologist
Diadromous Fish Division
Fisheries and Oceans Canada
P.O. Box 1006
Dartmouth, Nova Scotia B2Y 4A2
Canada

Rodney W. Brook
Anatidae Consulting
11 Cremona Place
Ottawa, Ontario K2G 1A2
Canada

Thomas A. Clair
Research Scientist
Canadian Wildlife Service, Biological Science
Environment Canada
17 Waterfowl Lane
Sackville, New Brunswick E4L 1G6
Canada

Suzanne Couture
Project Leader, Acid Rain
River Ecosystems Research
Environment Canada
105 McGill Street, 7th floor
Montréal, Quebec H2Y 2E7
Canada

Peter J. Dillon
Professor
Environmental and Resource Studies
Trent University
Peterborough, Ontario K9I 7B8
Canada

Dave L. Findlay
Algal Ecologist
Environmental Science Division
Fisheries and Oceans Canada
501 University Crescent
Winnipeg, Manitoba R3T 2N6
Canada

Jill Franklyn
Aquatic Ecologist
Human Impacts on Aquatic Ecosystem Processes
Environment Canada
867 Lakeshore Road
P.O. Box 5050
Burlington, Ontario L7R 4A6
Canada

Ray H. Hesslein
Senior Research Scientist, ELA Operations
Environmental Science Division
Fisheries and Oceans Canada
501 University Crescent
Winnipeg, Manitoba R3T 2N6
Canada

Wendel (Bill) Keller
Senior Environmental Scientist - Northern Lakes
Co-operative Freshwater Ecology Unit
Ontario Ministry of the Environment
1222 Ramsey Lake Road
Sudbury, Ontario P3E 2C6
Canada

David Lam
Project Chief
Water Quality Information Management and Modelling
Environment Canada
867 Lakeshore Drive
P.O. Box 5050
Burlington, Ontario L7R 4A6
Canada

Ken H. Mills
Research Scientist
Environmental Science Division
Fisheries and Oceans Canada
501 University Crescent
Winnipeg, Manitoba R3T 2N6
Canada

Michael D. Moran
Research Scientist
Modelling and Integration Research
Air Quality Research Branch
Environment Canada
4905 Dufferin Street
Downsview, Ontario M3H 5T4
Canada

Fariborz Norouzian
Human Impacts on Aquatic Ecosystem Processes
Environment Canada
867 Lakeshore Road
P.O. Box 5050
Burlington, Ontario L7R 4A6
Canada

Andrew Paterson
Scientist, Inland Lakes
Dorset Environmental Science Centre
Ontario Ministry of the Environment
1026 Bellwood Acres Road,
P.O. Box 39, Dorset, Ontario P0A 1E0
Canada

Michael J. Paterson
Invertebrate Community Ecologist
Environmental Science Division
Fisheries and Oceans Canada
501 University Crescent
Winnipeg, Manitoba R3T 2N6
Canada

Ed Snucins
Lake Rehabilitation Biologist
Cooperative Freshwater Ecology Unit
Department of Biology
Laurentian University
Sudbury, Ontario P3E 2C6
Canada

Vincent L. St. Louis
Associate Professor Aquatic Ecologist
Department of Biological Sciences
University of Alberta
Edmonton, Alberta T6G 2E9
Canada

Keith M. Somers
Biostatistician
Trent University and Dorset Environmental Science Centre
Ontario Ministry of the Environment
Dorset, Ontario P0A 1E0
Canada

Charles G. Trick
Professor
Department of Biology
The University of Western Ontario
London, Ontario N6A 5B7
Canada

Michael A. Turner
Limnological Research Scientist
Environmental Science Division
Fisheries and Oceans Canada
501 University Crescent
Winnipeg, Manitoba R3T 2N6
Canada

Rolf Vinebrooke
Associate Professor
Freshwater Biodiversity Laboratory
Department of Biological Sciences
University of Alberta
Edmonton, Alberta T6G 2E9
Canada

Jennifer G. Winter
Adjunct Faculty
Department of Biology
University of Waterloo
200 University Avenue West
Waterloo, Ontario N2L 3G1
Canada

Isaac Wong
Manager
Advanced Environmental Intelligent Technologies
Water Quality Information Management and Modelling
Environment Canada
867 Lakeshore Drive
P.O. Box 5050
Burlington, Ontario L7R 4A6
Canada

Norman D. Yan
Associate Professor of Biology
York University
4700 Keele Street
Toronto, Ontario M3J 1P3
Canada

Chapter 8 - Critical Loads: Are they being exceeded?
Lead Authors:
Dean S. Jeffries
Research Scientist
Human Impacts on Aquatic Ecosystem Processes
Environment Canada
867 Lakeshore Road
P.O. Box 5050
Burlington, Ontario L7R 4A6
Canada

Rock Ouimet
Researcher of Soil Science and Forest Nutrition and Associate Professor
Department of Forestry
University of Laval and Department of Forest Research
Quebec Ministry of Natural Resources, Wildlife and Parks
2700 rue Einstein
Sainte-Foy, Québec G1P 3W8
Canada

Contributing Authors:
Julian Aherne
Postdoctoral Fellow
Environmental and Resource Studies
Trent University
Peterborough, Ontario K9I 7B8
Canada

Paul A. Arp
Professor, Forest Soils
Faculty of Forestry and Environmental Management
28 Dineen Drive
University of New Brunswick
P.O. Box 44555
Fredericton, New Brunswick E3B 6C2
Canada

Vincent Balland
Research Associate
Faculty of Forestry and Environmental Management
28 Dineen Drive
University of New Brunswick
P.O. Box 44555
Fredericton, New Brunswick E3B 6C2
Canada

Ian DeMerchant
Methodology Research, Taxonomy and GIS Applications
Natural Resources Canada
P.O. Box 4000
Fredericton, New Brunswick E3B 5P7
Canada

Jacques Dupont
Departmental Head
Aquatic Environment Information Service
State of the Environment Monitoring Department
Ministry of the Environment
675 East Rene-Levesque Blvd, 7th floor
Quebec, Quebec G1R 5V7
Canada

Jill Franklyn
Aquatic Ecologist
Human Impacts on Aquatic Ecosystem Processes
Environment Canada
867 Lakeshore Road
P.O. Box 5050
Burlington, Ontario L7R 4A6
Canada

David Lam
Project Chief
Water Quality Information Management and Modelling
Environment Canada
867 Lakeshore Drive
P.O. Box 5050
Burlington, Ontario L7R 4A6
Canada

Fariborz Norouzian
Human Impacts on Aquatic Ecosystem Processes
Environment Canada
867 Lakeshore Road
P.O. Box 5050
Burlington, Ontario L7R 4A6
Canada

Shaun Watmough
Postdoctoral Fellow
Environmental and Resource Studies
Trent University
Peterborough, Ontario K9J 7B8
Canada

Isaac Wong
Manager, Advanced Environmental Intelligent Technologies
Water Quality Information Management and Modelling
Environment Canada
867 Lakeshore Drive
P.O. Box 5050
Burlington, Ontario L7R 4A6
Canada

Chapter 9 - Indirect and Direct Human Health Effects of Acid Aerosols
Marie-Ève Héroux
Biologist
Fuel and Air Quality Assessment Section
Health Canada
Suite 2000, 400 Cooper St
Ottawa, Ontario K1A 0K9
Canada

Barry Jessiman
Head, Fuel and Air Quality Assessment Section
Health Canada
Suite 2000, 400 Cooper St
Ottawa, Ontario K1A 0K9
Canada

Chapter 10 - Socio-economic Impacts of Acid Deposition
Yves Bourassa
Policy Manager
Regulatory and Economic Analysis Branch
Environment Canada
10 Wellington Street, 24th floor
Gatineau, Quebec K1A 0H3
Canada

Michael Donohue
Economist
Regulatory and Economic Analysis Branch
Environment Canada
10 Wellington Street, 24th floor
Gatineau, Quebec K1A 0H3
Canada

Fadi W. Balesh
Senior Economist
Regulatory and Economic Analysis Branch
Environment Canada
10 Wellington Street, 24th floor
Gatineau, Quebec K1A 0H3
Canada

Chapter 11 – Cobenefits and Linkages to Other Air Issues
Magda Little
Science Policy Advisor
Policy and International Affairs
Environment Canada
10 Wellington St
Gatineau, Quebec K1A OH3
Canada

Heather A. Morrison
Senior Science Advisor, Acid Rain Scientific Assessment and Integration Branch
Environment Canada
4905 Dufferin Street
Downsview, Ontario M3H 5T4
Canada

Chapter 12 – Answers to Key Science Questions including Science Gaps and Future Work
***Lead Author*:**
Heather A. Morrison
Senior Science Advisor, Acid Rain Scientific Assessment and Integration Branch
Environment Canada
4905 Dufferin Street
Downsview, Ontario M3H 5T4
Canada

***Contributing Authors*:**
Lead Authors of Assessment *(listed above)*

REVIEWERS
I would like to thank the following external and internal reviewers: your time, effort and expertise have contributed greatly to this assessment.

2004 Canadian Acid Deposition Science Assessment: Summary of Key Results

Lead authors of Assessment *(listed above)*

Kerri Timoffee
Manager, Acid Rain Program
Transboundary Air Issues Branch
Environment Canada
351 St Joseph Boulevard
Gatineau, Quebec K1A 0H3
Canada

2004 Canadian Acid Deposition Science Assessment

Chapter 1 – Introduction
Lead authors of Assessment (listed above)
Kerri Timoffee
Manager, Acid Rain Program
Transboundary Air Issues Branch
Environment Canada
351 St Joseph Boulevard
Gatineau, Quebec K1A 0H3
Canada

Chapter 2 – Emissions of Pollutants Related to Acid Deposition in North America
Gregory Stella
Alpine Geophysics, LLC
387 Pollard Mine Road
Burnsville, North Carolina 28714
U.S.A.

Paul J. Miller
Air Quality Program Coordinator
Commission for Environmental Cooperation
393, rue St-Jacques Ouest, Bureau 200
Montréal, Québec H2Y 1N9
Canada

Chapter 3 – Atmospheric Response to Past Emission Changes
Anonymous Reviewer

Van C. Bowersox
Coordinator, National Acid Deposition Program
Illinois State Water Survey
2204 Griffith Drive
Champaign, Illinois 61820
U.S.A.

Neville Reid
Supervisor
Modelling and Data Quality
Environmental Monitoring & Reporting Branch
Ontario Ministry of the Environment
125 Resources Road
Etobicoke, Ontario M9P 3V6
Canada

Chapter 4 – Current and Proposed Emission Control Programs: How will acid deposition be affected?
Robert Bloxam
Program Leader, Atmospheric Modelling
Environmental Monitoring and Reporting Branch
Ontario Ministry of Environment
125 Resources Road
Etobicoke, Ontario M9P 3V6
Canada

Michael Hingston
Acting Head - Air Issues Section
Environmental Protection Branch
Environment Canada - Atlantic Region
45 Alderney Drive, 5th floor
Dartmouth, Nova Scotia B2Y 2N6
Canada

Chapter 5 – Effects on Forests and Watershed Soils
Myron J. Mitchell
Distinguished Professor and Director of Council on Hydrologic Systems Science
SUNY-ESF
1 Forestry Drive
Syracuse, New York 13210-2788
U.S.A.

David Paré
Research Scientist, Forest Soil Processes
Forest Ecosystems Program
Natural Resources Canada
1055 P.E.P.S. Street, P.O. Box 3800
Ste-Foy, Quebec G1V 4C7
Canada

Chapter 6 – Effects on Aquatic Chemistry and Biology
John L. Stoddard
Research Life Scientist
U.S. Environmental Protection Agency
Office of Research and Development
200 SW 35th Streeet
Corvallis, Oregon 97333
U.S.A.

Rolf Vinebrooke
Associate Professor
Freshwater Biodiversity Laboratory
Department of Biological Sciences
University of Alberta
Edmonton, Alberta T6G 2E9

Chapter 7 – Recovery of Aquatic Ecosystems
Alan Jenkins
Professor and Science Director
Water Programme
CEH Wallingford Site
Maclean Building
Crowmarsh Gifford
Wallingford
Oxon OX10 8BB
England

Bjørn Olav Rosseland
Professor in Ecotoxicology
Co-ordinator in the Akvaforsk-alliance.
Environment and Production Technology
Associate Editor Wildlife Biology
Department of Ecology and Natural Resource Management &
Department of Plant and Environmental Sciences
Norwegian University of Life Sciences, UMB
Urbygningen, Ole Sverres plass 1
P.O. Box 5003, N-1432 Ås
Norway

Tom Brydges
Retired, Environment Canada
39 Elizabeth St. South
Brampton, Ontario L6Y 1R2
Canada

Rolf Vinebrooke
Associate Professor
Freshwater Biodiversity Laboratory
Department of Biological Sciences
University of Alberta
Edmonton, Alberta T6G 2E9
Canada

Chapter 8 – Critical Loads: Are they being exceeded?

Arne Henriksen
Research Scientist
Norwegian Institute for
Water Research (NIVA)
Brekkeveien 19
P.O Box 173, Kjelsaas
Oslo N-0411
Norway

Eric K. Miller
President and Senior Scientist
Ecosystems Research Group, Ltd.
P.O. Box 1227
Norwich, Vermont 05055
U.S.A.

Chapter 9 – Indirect and Direct Human Health Effects of Acid Aerosols

Mark S. Goldberg
Associate Professor
Department of Medicine and Joint
Departments of Epidemiology and
Biostatistics and Occupational Health
McGill University
1020 Pine Ave West
Montreal, Quebec H3A 1A2
Canada

Claude Viau
Professor
Department of Environmental Health
University of Montréal
2375, chemin de la Côte Ste-Catherine
Montréal, Quebec H3T 1A8
Canada

Joan Saary
Occupational Medicine Physician
CIHR Post Graduate Fellow
Clinician-Investigator
University of Toronto
St. Michael's Hospital
Occupational Health Clinic
4th Floor, Shuter Wing
30 Bond Street
Toronto, Ontario M5B 1W8
Canada

Roohi Oureshi
Occupational Medicine Physician and Lecturer
University of Toronto
St. Michael's Hospital
Occupational Health Clinic
4th Floor, Shuter Wing
30 Bond Street
Toronto, Ontario M5B 1W8
Canada

Chapter 10 – Socio-economic Impacts of Acid Deposition

Peter N. Nemetz
Professor of Strategy and Business Economics
Sauder School of Business
University of British Columbia
Vancouver, British Columbia V6T 1Z4
Canada

Alan Krupnik
Senior Fellow and Division Director
Resources for the Future
1616 P St. NW
Washington, DC 20036
U.S.A.

Chapter 11 – Co-benefits and Linkages to Other Air Quality Issues

David Plummer
Research Scientist
Meteorological Service of Canada
seconded to Ouranos
550 rue Sherbrooke Ouest, 19e etage
Montreal, Quebec H3A 1B9
Canada

Knut von Salzen
Research Scientist
Canadian Centre for Climate
Modelling and Analysis
Environment Canada
c/o University of Victoria
Victoria, British Columbia V8W 2Y2
Canada

Paul A. Arp
Professor, Forest Soils
Faculty of Forestry and Environmental Management
28 Dineen Drive
University of New Brunswick
P.O Box 44555
Fredericton, New Brunswick E3B 6C2
Canada

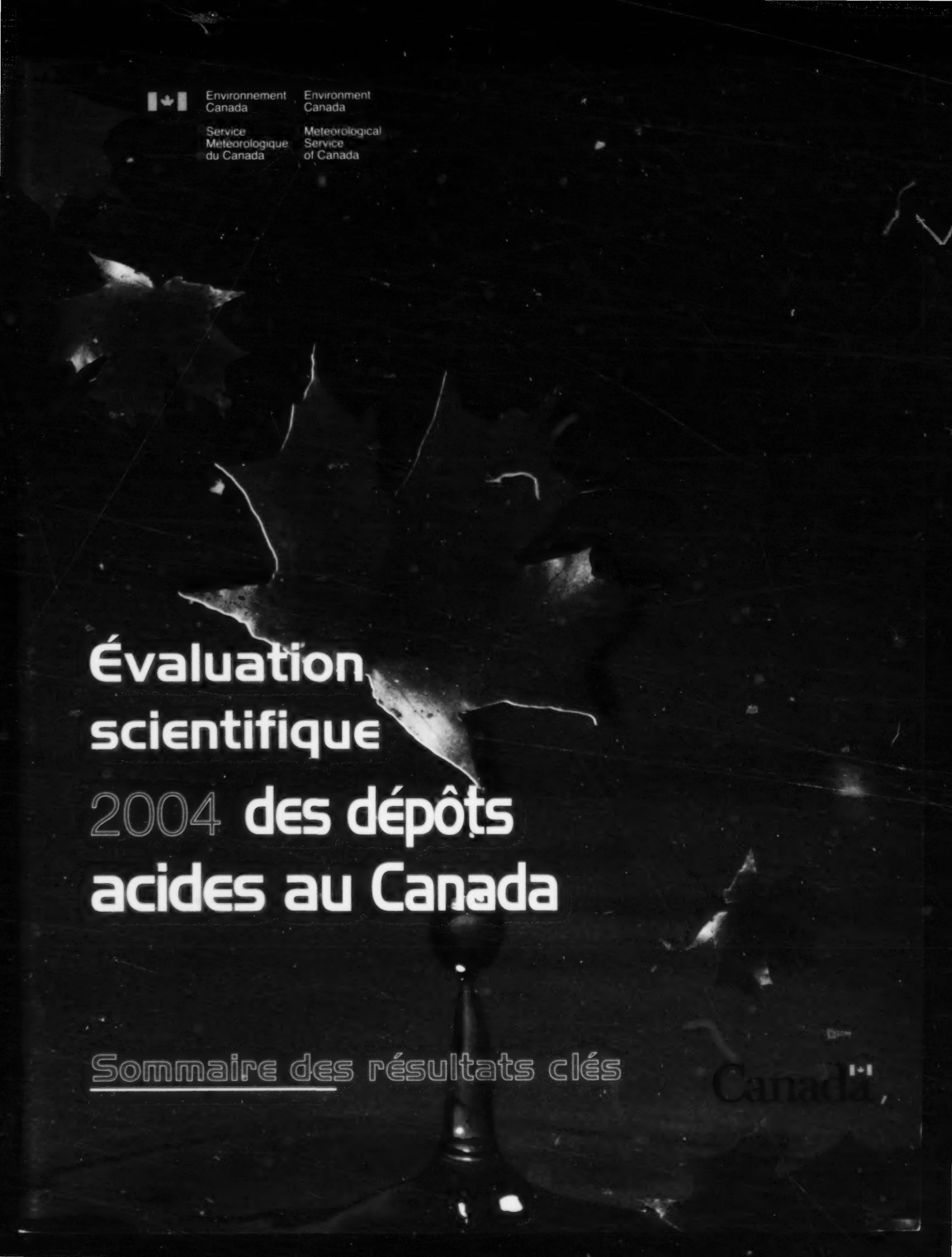
Henry Hengeveld
Emeritus Associate
Science Assessment and
Integration Branch
Environment Canada
4905 Dufferin Street
Downsview, Ontario M3H 5T4
Canada

Carrie Lillyman
Science Advisor – Air Quality
Science Assessment and
Integration Branch
Meteorological Service of Canada
Environment Canada
4905 Dufferin St.
Downsview, Ontario M3H 5T4

Chapter 12 – Answers to Key Science Questions including Science Gaps and Future Work

Lead Authors of Assessment (listed above)

ENVIRONMENT CANADA
METEOROLOGICAL SERVICE OF CANADA
4905 Dufferin Street, Downsview, Ontario, Canada M3H 5T4
PHONE: 416.739.4761 · FAX: 416.739.4882



Environnement Canada
Service Météorologique du Canada

Environment Canada
Meteorological Service of Canada

Évaluation scientifique 2004 des dépôts acides au Canada

Sommaire des résultats clés

Canada

Catalogage avant publication de Bibliothèque et Archives Canada

Vedette principale au titre

Évaluation scientifique 2004 des dépôts acides au Canada :
sommaire des résultats clés

Texte en français.
Comprend des références bibliographiques.
ISBN 0-662-68662-4
No. de cat. En4-46/2004

1. Pluies acides – Aspect de l'environnement – Canada.
2. Précipitations acides (Météorologie) – Aspect de l'environnement – Canada.
3. Dépôts acides – Aspect de l'environnement – Canada.
4. Acidification des cours d'eau, lacs, etc. – Aspect de l'environnement – Canada.
5. Environnement – Surveillance – Canada.
I. Canada. Service météorologique.

TD195.54C3C32 2005 363.738'62'0971 C2005-98037-2

Sommaire

Au Canada, les retombées acides continuent d'affecter l'environnement et la santé des Canadiens, malgré les réductions qui ont été enregistrées à la suite de l'application des mesures de réductions des émissions acidifiantes. En effet, selon deux méthodes d'estimation de scénarios, allant du plus au moins optimiste, de 21 à 75 % du territoire de l'Est du Canada (ce qui correspond à 0,5-1,8 million km^2) continuent de recevoir des dépôts acides qui en dépassent les charges critiques (c.-à-d. la quantité de dépôts acides que le territoire d'une région peut recevoir sans qu'il en soit affecté), et ce, malgré le fait que les taux de dépôts acides y aient diminué. Même avec l'Accord Canada-É.-U. sur la qualité de l'air (AQA) concernant la réduction d'ici 2010 des émissions de dioxide de soufre (SO_2), on estime que les deux pays devront réduire d'un 75 % supplémentaire les émissions de ce polluant pour préserver les écosystèmes du Canada des dommages causés par les dépôts acides. Le soufre continue d'être l'agent acidifiant prédominant des dépôts acides qui touchent l'Est du Canada. Il est possible cependant que les émissions élevées et soutenues d'oxyde d'azote (NO_x) contribuent dans le futur à l'acidification des écosystèmes.

Dans l'Ouest canadien (défini ici comme le territoire appartenant au Canada situé à l'ouest de l'Ontario), de vastes portions de territoire présentent des géologies sensibles à l'acidité des dépôts atmosphériques. Ces secteurs géologiques sont situés au nord et au sud-est du Manitoba, au nord de la Saskatchewan, au nord-est de l'Alberta, au Nunavut et dans les Territoires du Nord-Ouest, et forment la chaîne côtière de la Colombie-Britannique. Actuellement, il n'est pas possible de déterminer si les écosystèmes qui s'y trouvent sont en danger, faute de données suffisantes sur leurs propriétés et sur les teneurs en acidité des dépôts. On ne peut donc dire pour l'instant, à quelques exceptions près, dans quelle mesure ces écosystèmes potentiellement vulnérables se trouvent affectés par les retombées acides.

Au Canada et aux É.-U., les sources majeures d'émissions acidifiantes émanent de la production d'électricité, de l'exploitation et de la fusion du minerai non ferreux, du secteur amont de l'industrie pétrolière et gazière et du transport. Les sources d'émissions majeures en provenance du Canada qui affectent l'est du pays arrivent de l'Ontario et du Québec. Les sources d'émissions majeures en provenance des É.-U. qui créent des impacts sur les écosystèmes de l'Est du Canada arrivent des régions du Midwest, des Grands Lacs, de la vallée fluviale de l'Ohio et de la Côte Est. L'Alberta, le sud de la Saskatchewan et le nord du Manitoba produisent la majorité des émissions qui affectent les écosystèmes de l'Ouest canadien.

La réduction des émissions acidifiantes n'a pas produit les effets escomptés. L'acidification des écosystèmes aquatiques et terrestres se poursuit, en raison de différents processus physico-chimiques et climatiques qui continuent de se produire. Les concentrations en cations basiques qui neutralisent l'acidité continuent de diminuer dans les sols en réaction aux précipitations encore acides, faisant du coup accroître la vulnérabilité de nombreuses régions à l'acidité des précipitations. La réduction des dépôts acides a eu pour effet de faire passer dans les lacs et les cours d'eau le soufre emmagasiné dans les sols forestiers bien drainés, ajoutant à la charge d'acidité dans ces écosystèmes. Après des périodes de sécheresse, le soufre – venu de l'atmosphère puis emmagasiné dans les sols des milieux humides – est libéré dans les lacs et les cours d'eau, ce qui a pour effet d'y déclencher des périodes d'acidification. En dépit des réductions des émissions acidifiantes, de l'azote en excès continue d'être largué des bassins versants, contribuant à acidifier leur réseau de lacs et de cours d'eau.

Malgré ces processus qui réduisent l'efficacité des mesures de réduction des émissions, on observe une amélioration de l'état de beaucoup de lacs, en particulier ceux situés dans les environs des fonderies qui ont

fortement réduit leurs émissions. Le processus de rétablissement de beaucoup de ces lacs est complexe et lent; des communautés biologiques pourraient être altérées de façon permanente. La capacité de bien des lacs à servir d'habitat propice au développement du biote aquatique s'est cependant améliorée; on a à cet égard observé que la présence d'oiseaux aquatiques augmentait, par exemple celle du plongeon huard.

Par ailleurs, les dépôts acides sont en rapport avec bien d'autres problèmes environnementaux. Ils se forment en présence des mêmes précurseurs acides (SO_2 and NO_x) que l'ozone troposphérique et les matières particulaires (le smog autrement dit). Les polluants responsables de l'acidité des dépôts contribuent au changement climatique qui a lui-même l'effet potentiel d'agir sur l'étendue territoriale, sur la gravité des dépôts acides et effets associés. De plus, en présence de dépôts acides, le mercure élémentaire – qui est non toxique directement – se transforme en méthylmercure, un composé bioaccumulatif extrêmement toxique. D'autres problèmes – d'ordre environnemental, économique et de santé humaine – peuvent ainsi bénéficier des réductions de l'acidité des retombées atmosphériques.

Étant donné l'ampleur des impacts causés par les dépôts acides sur les humains et leur environnement, il y a de nombreux avantages socio-économiques à tirer des mesures de réduction. Par exemple, les découvertes scientifiques récentes de l'existence de liens entre les dépôts acides et les baisses de productivité des forêts laissent suggérer que le secteur forestier pourrait grandement bénéficier, au plan économique, de l'application de mesures de réduction.

Le tour complet de la question des dépôts acides n'a pas encore été fait. D'autres efforts doivent être déployés pour réduire les émissions acidifiantes dans l'Est du Canada. Ce problème sera d'autant plus aisé à gérer dans le futur que s'améliorera notre compréhension de la complexité des impacts qu'il produit à long terme. Les géologies sensibles à l'acidité et l'augmentation des émissions de SO_2 et de NO_x justifient l'établissement de stations de surveillance dans les provinces de l'Ouest canadien pour que l'on s'assure que les dépôts acides ne portent pas préjudice aux écosystèmes qui s'y trouvent.

Le Rapport d'évaluation scientifique de 2004 sur les dépôts acides au Canada a été préparé par des chercheurs des gouvernements fédéral et provinciaux et des universités. Cette évaluation s'appuie sur les résultats présentés dans le Rapport d'évaluation 1997 sur les pluies acides au Canada. On y présente les derniers progrès scientifiques qui concernent:

- la réduction des émissions acidifiantes;
- la réaction de l'atmosphère au changement des émissions passées, présentes et futures;
- les estimations des charges critiques des écosystèmes aquatiques et terrestres;
- les effets sur les forêts et les sols, les écosystèmes aquatiques, la faune et la santé humaine;
- le rétablissement des écosystèmes aquatiques;
- les relations entre les dépôts acides et les autres problèmes environnementaux;
- l'identification d'aspects non compris du problème;
- la quantification des coûts et avantages associés à la réduction des dépôts acides.

Le rapport se présente en deux documents. L'un intitulé « Sommaire des résultats clés » présente le résumé des résultats clés de l'évaluation, sous forme de réponses aux dix questions et sous-questions qu'ont posées les milieux politique et scientifique. L'autre document, l'évaluation proprement dite, rend compte des connaissances scientifiques sur les dépôts acides qui touchent le Canada.

Introduction

Le rapport 2004 sur l'évaluation scientifique des dépôts acides au Canada constitue deux premières. Il s'agit en effet de la première synthèse sur la science des dépôts acides au Canada qui est publiée depuis le lancement de la Stratégie pancanadienne sur les émissions acidifiantes après l'an 2000. C'est aussi la première fois qu'on rapporte les réactions des écosystèmes aux réductions des émissions de dioxyde de soufre (SO_2) entreprises en 1990 aux É.-U. sous la Phase I du titre IV des amendements de 1990 de la Clean Air Act.

Cette cinquième évaluation scientifique sur les dépôts acides publiée en 25 ans arrive à point nommé dans l'évolution du problème. Depuis la réalisation de la dernière évaluation[1], la science a mis en évidence des liens entre l'acidification chronique des sols forestiers et le dépérissement des forêts, et le rétablissement retardé des écosystèmes aquatiques. Les augmentations considérables d'émissions de SO_2 et d'oxydes d'azote (NO_x) (agents acidifiants des retombées atmosphériques) résultant de l'exploitation des sables bitumineux du nord de l'Alberta risquent de créer des impacts dans l'Ouest. En dépit de l'idée fausse véhiculée selon laquelle le problème des pluies acides serait résolu, les récents résultats de recherche montrent au contraire que le problème pourrait se faire sentir durant 60 ans encore dans l'Est du Canada[2]. La publication de ces résultats arrive à point nommé dans un contexte où le public n'est que très peu conscientisé à ce problème. Il est temps de planifier pour l'avenir.

Que sont les dépôts acides? Les dépôts acides sont le produit final de réactions dans l'atmosphère entre les oxydes de soufre (SO_x), les oxydes d'azote (NO_x) et l'eau. Les dépôts acides atteignent la surface de la terre par le biais des précipitations (les pluies ou les brouillards acides) et des gaz, des aérosols acides et des particules (dépôts secs ou sédimentation). Dans l'atmosphère, l'acidité (le pH) des dépôts acides est influencée par les concentrations en bases et en acides dérivés du soufre et de l'azote. Les concentrations atmosphériques des acides et des bases sont principalement déterminées par les émissions anthropiques de SO_x, de NO_x, d'ammoniac et de cations basiques provenant de sources telles que les fonderies des métaux communs, la génération thermique d'énergie électrique, le secteur amont de l'industrie pétrolière et gazière et le transport. Dans l'Est du Canada, les émissions de SO_2 sont responsables de la majorité de l'acidité des dépôts atmosphériques.

Les polluants qui engendrent les dépôts acides peuvent voyager sur des centaines, voire des milliers de kilomètres depuis la source qui les émet. En raison de ce transport à longue distance et de la nature destructrice des acides, les impacts des dépôts acides créés sur les humains, leur environnement et l'économie touchent de grandes étendues géographiques. Les dépôts acides affectent les lacs, les cours d'eau, les sols, les forêts, les édifices et la santé humaine. Ils réduisent la diversité biologique des écosystèmes aquatiques et ont le potentiel de modifier la composition des espèces dans les écosystèmes terrestres.

Les dépôts acides se forment avec les mêmes émissions de précurseurs (SO_x et NO_x) avec lesquelles se forment aussi l'ozone troposphérique et les matières particulaires (MP) (smog). Les oxydes d'azote (NO_x) peuvent contribuer à la formation d'ozone lorsqu'ils sont en présence de composés organiques volatils (par ex., les solvants) et de la lumière du jour. Les SO_2 et les NO_x peuvent réagir avec d'autres composés chimiques pour former des MP. Or, les MP et l'ozone sont reconnus pour

[1] Environment Canada, 1998. 1997 Canadian Acid Rain Assessment. Vols. 1-5. ISBN 0-662-2598-6. En anglais seulement

[2] Selon les modèles de prévision de la réaction des écosystèmes à des scénarios optimistes de réduction des émissions de Clair et al. (2003) établis pour la Nouvelle-Écosse et de Aherne et al. (2003) pour l'Ontario. On n'a pas cependant pas tenu compte dans ces études des facteurs qui pourraient retarder le rétablissement des écosystèmes, tels les pratiques d'aménagement forestier, les incendies forestiers et le lessivage du nitrate.

affecter la santé des gens. De plus, le smog et certains de ses précurseurs se dispersent pour absorber la lumière qui traverse l'atmosphère, ce qui affecte la visibilité et contribue au changement climatique.

Au Canada, le problème des dépôts acides requiert la réduction des SO_x et des NO_x autant émis au Canada qu'aux É.-U. En effet, les É.-U., situés à proximité, émettent des émissions qui sont transportées au Canada sur de longues distances. Pour remédier à ce problème, le Canada a mis en œuvre le Programme de lutte contre les pluies acides dans l'Est du Canada (PLCPA), concrétisant en ce sens un premier effort coordonné du gouvernement fédéral et des sept provinces de l'Est. Ce programme, qui a été lancé en 1985, a atteint son objectif de réduire les émissions de SO_2 de 50 % en 1994 par rapport aux quantités qui ont été émises en 1980. Aux É.-U., des amendements ont été apportés à la Clean Air Act des É.-U. de 1990, lesquels spécifiaient qu'il y avait d'importantes réductions d'émissions de SO_2 à appliquer pour 1997 (Phase I), puis des supplémentaires pour 2010 (Phase II) de même que des réductions à faire en matière d'émissions de NO_x. L'Accord Canada-É.-U. sur la qualité de l'air (AQA), signé en 1991, a confirmé les engagements pris par les deux gouvernements de réduire les émissions de SO_2 et de NO_x, sur la tenue de consultations et sur la mise en œuvre de moyens pour régler d'autres questions de pollution atmosphérique transfrontalière.

Lorsque le PLCPA a été mis au point, on souhaitait que la réduction des émissions de SO_2 au Canada et aux É.-U. réduise les quantités de sulfate présentes dans les précipitations (c.-à-d. pluie et neige) d'une quantité aussi élevée que 40 kg par hectare par année à moins de 20 kg par hectare par année. Le « dépôt cible »[3] de 20 kg par hectare par année, déterminé en 1983, était censé protéger les écosystèmes aquatiques de sensibilité modérée à l'acidité. Bien que l'on prévoit atteindre cette quantité cible en 2010, on conclut dans les rapports d'évaluation de 1990[4] et de 1997[5] sur les pluies acides au Canada que beaucoup de lacs et de forêts continueront d'être affectés par les dépôts acides. L'évaluation de 1990 a permis de confirmer la pertinence de se doter d'une mesure plus appropriée de la capacité d'un écosystème à absorber des dépôts acides sans en subir de dommages : la « charge critique ». La charge critique est une estimation de la capacité qu'a un écosystème donné d'absorber de l'acidité, ou autrement dit, la quantité de dépôts acides (exprimée en eq/ha/a) qu'il est en mesure de recevoir sans qu'il en soit affecté.

L'accomplissement du PLCPA de 1985 a marqué la fin d'une première étape vers la résolution du problème des dépôts acides au Canada. En 1994, les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux ont commencé à élaborer une stratégie de réduction des dépôts acides au Canada capable de mitiger les effets produits à long terme sur l'environnement et la santé humaine, autant associés aux dépôts acides eux-mêmes qu'aux émissions acidifiantes. Lancée en 1998, la Stratégie pancanadienne sur les émissions acidifiantes après l'an 2000 (appelée « la Stratégie ») avait pour objectif principal de « se conformer à long terme au seuil environnemental des charges critiques en matière de dépôts acides partout au Canada. » La Stratégie est présentement en application. Elle consiste à réaliser les engagements suivants :

- négocier davantage de réductions d'émissions de la part des É.-U. ;
- établir de nouveaux objectifs de réduction des émissions de dioxyde de soufre (SO_2) pour l'Est du Canada;
- prévenir la pollution et garder les milieux sains « propres »;
- s'assurer de la pertinence des programmes de recherche scientifique et de surveillance des pluies acides;
- rendre compte chaque année des émissions actuelles et prévues de SO_2 et de NO_x au regard du respect des engagements internationaux et des progrès réalisés dans la mise en œuvre de la Stratégie.

[3]Dans ce cas, le dépôt cible correspond à un objectif écologique qui est supérieur à la charge critique il permettrait autrement dit un certain degré de dommage écologique (Brydges, T. 2004. Acid Rain in Story and Song. Thomas and Marilyn Brydges Publ. Brampton, ON. Pp.131.)

[4]CCRS (Comité fédéral-provincial de coordination de la recherche et de la surveillance). 1990. Rapport canadien d'évaluation de 1990 sur le transport à distance des polluants atmosphériques et sur les dépôts acides, Comité fédéral-provincial de coordination de la recherche et de la surveillance.

[5]Environnement Canada, 1998. 1997 Canadian Acid Rain Assessment. Vols. 1-5. ISBN 0-662-2598-6. En anglais seulement.

La présente évaluation sert d'appui scientifique à la justification des engagements de la Stratégie. L'évaluation est en effet fondée sur les résultats du Rapport d'évaluation de 1997 sur les pluies acides au Canada et sur les fondements scientifiques actuels. La préparation de cette évaluation a débuté en 2001 avec la tenue d'une série d'ateliers auxquels ont été conviés scientifiques et responsables de l'élaboration des politiques des gouvernements fédéral et provinciaux et de plusieurs universités. La tenue de ces ateliers a mené à la création de la table des matières de l'évaluation présente et à la formulation de dix questions touchant les besoins en information des communités scientifique et politique :

1. Est-ce qu'au Canada, les dépôts acides affectent encore l'environnement et la santé des Canadiens ? Si oui, où, et dans quelle mesure cela les affectent-ils?
2. Quelles sont les tendances actuelles des émissions acidifiantes et celles prévues?
3. D'où proviennent les sources industrielles majeures des émissions acidifiantes qui affectent les écosystèmes canadiens?
4. Faut-il réduire davantage les émissions au Canada et aux É.-U.? Si oui, de combien faut-il le faire et où sont situées les sources?
5. Réduire les NOx peut-il compenser pour le besoin de réduire le SO_2 ? Est-ce que la saturation en azote présente un problème ? Quels sont les impacts de la réduction des émissions de NO_x sur les écosystèmes canadiens?
6. Existe-t-il d'autres facteurs qui pourraient faire diminuer l'efficacité des réductions des émissions?
7. Est-ce que les écosystèmes affectés montrent des signes de rétablissement à la suite des mesures de réductions des émissions de SO_2 qui ont été appliquées dans le passé ? Dans l'affirmative, comment le rétablissement s'effectue-t-il? Sinon, pourquoi ? Et quand et à quelles conditions peut-on s'attendre à un rétablissement considéré acceptable au plan environnemental? Quel rôle jouent les émissions de NO_x?
8. Quels avantages socio-économiques peut-on tirer de l'atténuation des dépôts acides?
9. Quels liens relient les dépôts acides aux autres polluants ? Quelle est l'implication des dépôts acides dans la formation des matières particulaires et de l'ozone ? Dans la pollution par le mercure ? Et quelle part prennent-il au phénomène des changements climatiques?
10. Où doit-on poursuivre les activités de surveillance de l'atmosphère et des écosystèmes? Vers quels aspects du problème des dépôts acides devrions-nous centrer les efforts de recherche?

L'objectif de cette évaluation était de synthétiser les connaissances scientifiques actuelles sur les dépôts acides au Canada. Ces connaissances résumées sont présentées sous forme de réponses aux dix questions et sous-questions rapportées dans ce sommaire sur les résultats clés. Publiée dans un document distinct, l'évaluation proprement dite rend compte pour sa part des connaissances scientifiques sur les dépôts acides qui touchent le Canada. L'évaluation scientifique et le présent sommaire sont disponibles dans le site Internet d'Environnement Canada (**http://www.msc-smc.ec.gc.ca/saib/acid/acid_f.html**) et à la Direction de l'évaluation scientifique et de l'intégration du Service météorologique du Canada, Environnement Canada, 4905 rue Dufferin, Downsview, Ontario, M3H 5T4.

1. Est-ce qu'au Canada les dépôts acides affectent encore l'environnement et la santé des Canadiens? Si oui, où, et dans quelle mesure les affectent-ils?

Les dépôts acides affectent encore l'environnement canadien et la santé des Canadiens.

L'ENVIRONNEMENT CANADIEN

Au Canada, le principal indicateur qui permet d'affirmer si oui ou non l'environnement est affecté par les dépôts acides est le dépassement de sa charge critique. Dans ce rapport, la charge critique se définit comme étant « une estimation quantitative de l'exposition d'éléments spécifiques de l'environnement à un ou plusieurs polluants, exposition qui ne leur causera pas d'effets nocifs, étant donné les connaissances actuelles[6]. Ses unités sont exprimées en équivalent d'hydrogène (H^+) par hectare par année (eq/ha/a)[7]. Pour la première fois en Amérique du Nord, une carte combinée des charges critiques des écosystèmes aquatiques[8] (les lacs) et terrestres (les sols forestiers bien drainés) vient d'être produite pour les régions du Canada pour lesquelles nous disposions de données sur les dépôts acides, la chimie des lacs ou des sols. Dans cette carte, on a considéré l'acidité des dépôts atmosphériques secs et humides dérivée des polluants et soufrés et azotés. La production de cette carte combinée repose sur la considération des composantes les plus sensibles de l'environnement – soit les écosystèmes aquatique ou terrestre – pour déterminer la charge critique d'une zone particulière (c.-à-d. d'une maille de la grille cartographiée). Les dépassements des charges critiques des écosystèmes aquatiques et terrestres ont été calculés selon deux méthodes. La première, nommée « dépassement selon le lessivage actuel de l'azote » prend en compte l'acidité apportée par les dépôts atmosphériques secs et humides de soufre et par la composante des dépôts d'azote qui acidifie actuellement les écosystèmes (c.-à-d. le nitrate lessivé des bassins versants). Dans la deuxième méthode, nommée « dépassement à l'atteinte de l'équilibre avec les dépôts atmosphériques » ou, plus succinctement « dépassement à l'état d'équilibre », on assume que tous les dépôts de soufre et d'azote finiront par acidifier l'environnement.

Le dépassement des charges critiques selon le lessivage actuel de l'azote est un indicateur de l'intensité actuelle de l'acidité causée dans l'environnement par les dépôts acides. Ce n'est qu'un indicateur des dommages actuels que subit l'environnement. Pour avoir une idée des dommages que risque de subir l'environnement à plus long terme en raison des dépôts acides actuels, il faut se référer à l'indicateur du dépassement des charges critiques à l'état d'équilibre. Le dépassement de la charge critique d'un écosystème donné se produit lorsque l'acidité évaluée selon l'une ou l'aute méthode dépasse la charge qu'il peut absorber sans qu'il en subisse d'effets nocifs notables.

[6] Definition employée par la CEE-ONU (Nilsson, J. et Grennfelt, P., 1988. Critical loads for sulphur and nitrogen. Rapport d'un atelier tenu à Skokloster, Suède. Miljorapport 1988:15, Nordic Council of Ministers, Copenhagen, Denmark, 31pp.). En anglais seulement.

[7] Puisque S et N ont des masses atomiques différentes, on ne peut pas calculer les valeurs des charges critiques selon une unité de masse (par ex., en kg/ha/a); on rapporte les valeurs à une unité d'équivalent (eq), c.-à-d. de mole de charge électrique réactive (par ex., eq/ha/a)

[8] La chimie de l'eau de 3130 lacs a été compilée pour toutes les provinces et territoires du Canada (à l'exception de l'Î.-P.-É.) afin d'évaluer leur état actuel. Pour les provinces de l'Est (ON et plus à l'est), où la chimie des lacs est en train de changer en réaction à la réduction des dépôts acides, la période d'échantillonnage pour évaluer cet « état actuel » est d'au plus tard de 1997. Cette contrainte a été assouplie pour les provinces de l'Ouest et les territoires. La compilation fourni une population d'échantillonnage qui n'est pas représentative de la population entière des lacs. Du point du vue géographique, les lacs échantillonnés sont distribués irrégulièrement, se trouvent souvent en grappes et sont souvent absents dans beaucoup de régions en raison de l'absence ou la vétusté de données. Les lacs échantillonnés dans les provinces de l'Est tendent à être situés sur des terrains sensibles à l'acidité tandis que ceux dans l'Ouest et au Nord sont situés sur des terrains sensibles aussi bien que non sensibles. La population des échantillons disponibles était biaisée vers des lacs de grande superficie, bien qu'il soit probable que des effets plus importants se produisent dans les petits lacs.

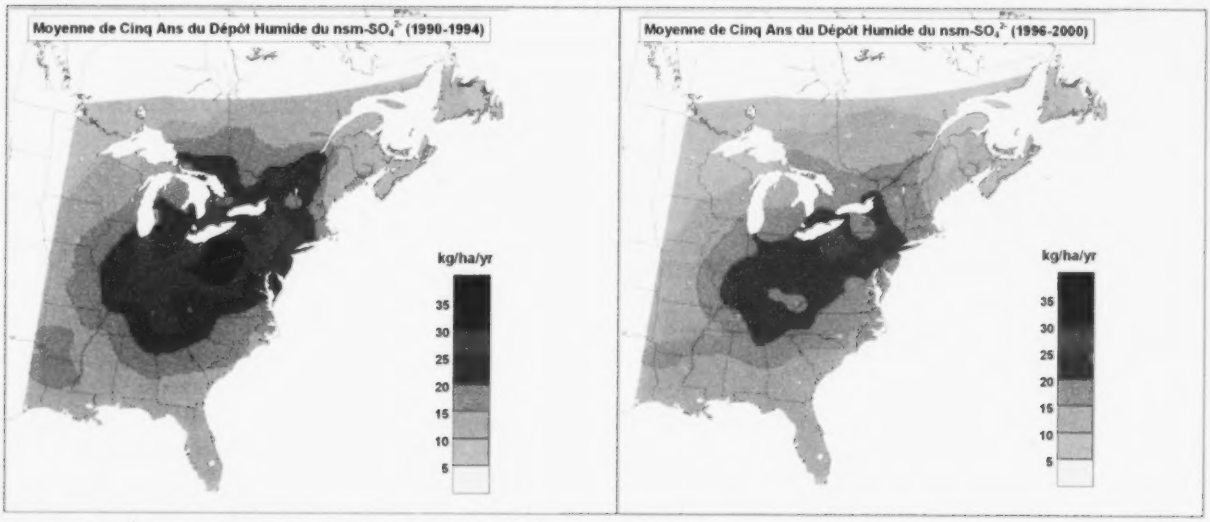


Figure 1.1 : Évolution de la distribution spatiale du sulfate (SO_4^{2-}) dans les dépôts humides (exprimé en kg/ha/a; et corrigé pour le sel de mer) dans l'Est de l'Amérique du Nord du début à la fin des années 1990. La carte à gauche montre la distribution de la moyenne de cinq ans de dépôts humides pour la période 1990-1994, tandis que celle à droite montre la distribution de la moyenne de cinq ans de dépôts humides pour la période 1996-2000. La zone qui reçoit plus de dépôts que la charge cible de 20 kg/ha/a à la suite des réductions des émissions de SO_2 a considérablement réduit. (Note: 1 kg SO_4^{2-} /ha/a équivaut à 20,8 eq/ha/a).

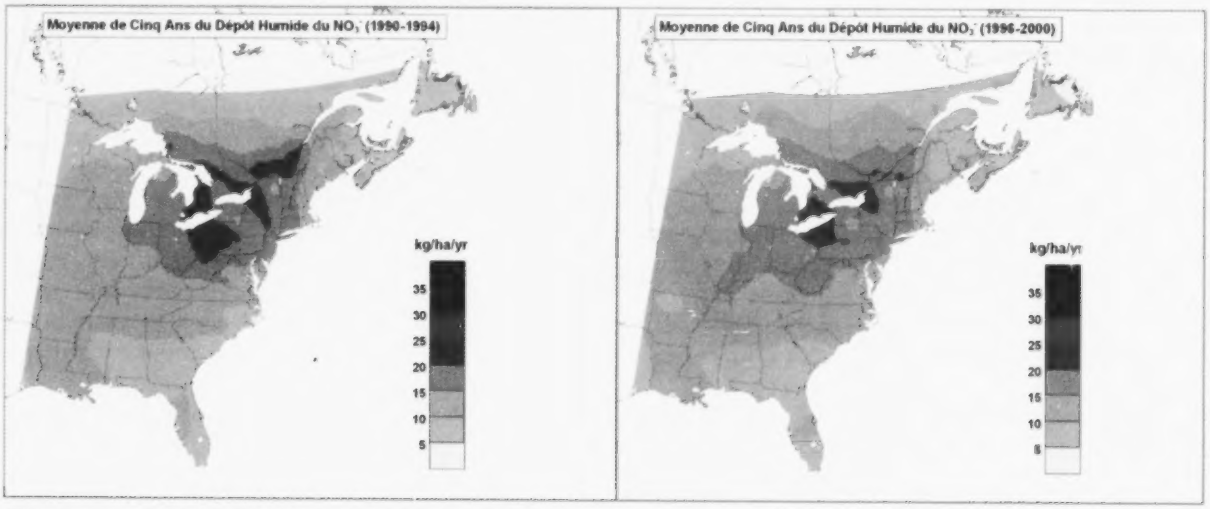


Figure 1.2 : Distribution spatiale des dépôts humides de NO_3^- dans l'Est de l'Amérique du Nord au début et à la fin des années 1990. La carte à gauche montre la distribution de la moyenne de cinq ans de dépôts humides pour la période 1990-1994, tandis que celle à droite montre la distribution de la moyenne de cinq ans de dépôts humides pour la période 1996-2000. Comparé au patron de la figure 1.1, ce patron-ci de distribution entre les deux périodes demeure constant, ce qui est en accord avec la constance relative des émissions de NO_x qui se sont déposées dans cette région au cours de cette période. (Note: 1 kg NO_3^-/ha/a équivaut à 16,1 eq/ha/a).

Les résultats de la présente évaluation confirme que, malgré la baisse des dépôts acides enregistrée dans l'Est du Canada au cours des dernières décennies (figures 1.1 et 1.2), de 21 à 75 % du territoire (correspondant à 0,5-1,8 million de km^2) continuent de recevoir des dépôts acides qui dépassent ses charges critiques (figures 1.3 et 1.4). Ces valeurs proviennent des estimations du plus au moins optimiste des scénarios.

Il est à noter qu'il n'existe pas de données sur la chimie des lacs des territoires sensibles de certaines provinces, notamment dans le nord et le sud-est du Manitoba, le nord de la Saskatchewan, le Nunavut, les Territoires du Nord-Ouest et la chaîne côtière de la Colombie-Britannique. Ainsi, pour ces régions, les valeurs présentées à la figure 1.3 ne sont pas représentatives de situations régionales; toutefois, il n'existe pas encore d'autres évaluations des charges critiques qui pourraient valider ces valeurs. Dans les autres provinces, notamment Terre-Neuve-et-Labrador, la Nouvelle-Écosse, le Nouveau-Brunswick, Québec et Ontario, les données de chimie des lacs ne représentent pas suffisamment de territoire et l'intensité d'échantillonnage n'y est pas suffisant pour que les valeurs de dépassement des charges critiques soient représentatives des situations régionales. Il faut aussi mentionner que dans le calcul des charges critiques des sols forestiers bien drainés, nous avons assumé qu'il n'y avait eu aucune exploitation forestière et aucun incendie forestier. Puisque ces deux phénomènes rendent les forêts plus sensibles aux dépôts acides, les valeurs des charges critiques rapportées ici pour les forêts sont probablement trop élevées. De plus, ce ne sont pas tous les composés d'azote présents dans les dépôts secs qui ont été tenus en considération dans

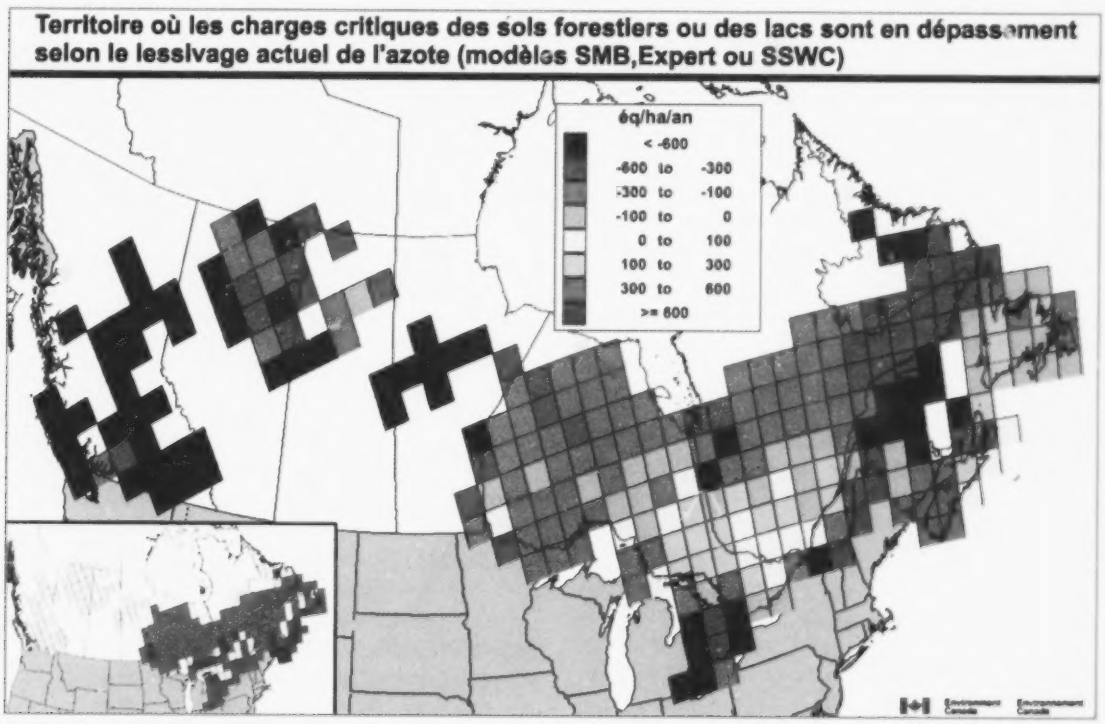


Figure 1.3 : Dépassement des charges critiques d'acidité (S+N) – selon le lessivage actuel de l'azote – des milieux aquatiques ou forestiers (dépôts humides et secs exprimés en eq/ha/a) basé sur les dépôts atmosphériques moyens pour la période 1994-1998. Les charges critiques ont été calculées soit à l'aide de modèles de la chimie de l'eau (Expert ou SSWC), soit à l'aide d'un modèle adapté aux sols forestiers (SMB). On a sélectionné comme charge critique, dans une maille donnée, la valeur la plus faible entre le 5^e percentile de la charge critique des lacs et le 5^e percentile des polygones de sol. La légende (en bas à gauche) indique le modèle qui a été sélectionné pour évaluer chaque maille de la grille : rouge = Expert (aquatique), jaune = SSWC (aquatique), vert = SMB (sols forestiers bien drainés). La composante des sols forestiers a été obtenue par la superposition de la grille sur la carte du dépassement des charges critiques des polygones de sol. La carte des charges critiques des sols forestiers a été produite par le Groupe de travail sur la cartographie forestière du secrétariat des Gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et des premiers ministres de l'Est du Canada (GNA-PMEC) avec la collaboration de l'Ontario, d'Environnement Canada et du Service canadien des forêts de Ressources naturelles Canada.

Les résultats de la présente évaluation confirme que, malgré la baisse des dépôts acides enregistrée dans l'Est du Canada au cours des dernières décennies (figures 1.1 et 1.2), de 21 à 75 % du territoire (correspondant à 0.5-1.8 million de km^2) continuent de recevoir des dépôts acides qui dépassent ses charges critiques (figures 1.3 et 1.4). Ces valeurs proviennent des estimations du plus au moins optimiste des scénarios.

Il est à noter qu'il n'existe pas de données sur la chimie des lacs des territoires sensibles de certaines provinces, notamment dans le nord et le sud-est du Manitoba, le nord de la Saskatchewan, le Nunavut, les Territoires du Nord-Ouest et la chaîne côtière de la Colombie-Britannique. Ainsi, pour ces régions, les valeurs présentées à la figure 1.3 ne sont pas représentatives de situations régionales; toutefois, il n'existe pas encore d'autres évaluations des charges critiques qui pourraient valider ces valeurs. Dans les autres provinces, notamment Terre-Neuve-et-Labrador, la Nouvelle-Écosse, le Nouveau-Brunswick, Québec et Ontario, les données de chimie des lacs ne représentent pas suffisamment de territoire et l'intensité d'échantillonnage n'y est pas suffisant pour que les valeurs de dépassement des charges critiques soient représentatives des situations régionales. Il faut aussi mentionner que dans le calcul des charges critiques des sols forestiers bien drainés, nous avons assumé qu'il n'y avait eu aucune exploitation forestière et aucun incendie forestier. Puisque ces deux phénomènes rendent les forêts plus sensibles aux dépôts acides, les valeurs des charges critiques rapportées ici pour les forêts sont probablement trop élevées. De plus, ce ne sont pas tous les composés d'azote présents dans les dépôts secs qui ont été tenus en considération dans

Territoire où les charges critiques des sols forestiers ou des lacs sont en dépassement selon le lessivage actuel de l'azote (modèles SMB,Expert ou SSWC)

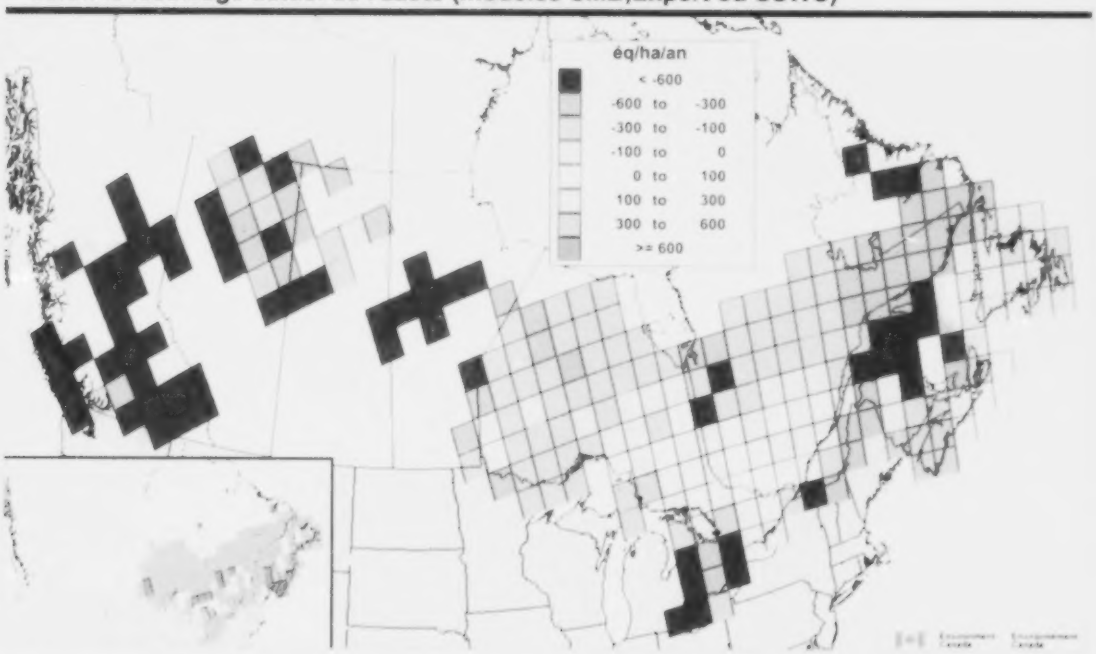


Figure 1.3 : Dépassement des charges critiques d'acidité (S+N) – selon le lessivage actuel de l'azote – des milieux aquatiques ou forestiers (dépôts humides et secs exprimés en éq/ha/an) tenu sur les dépôts atmosphériques moyens pour la période 1994-1996. Les charges critiques ont été calculées soit à l'aide de modèles de la chimie de l'eau (Expert ou SSWC), soit à l'aide d'un modèle adapté aux sols forestiers (SMB). On a sélectionné comme charge critique, dans une maille donnée, la valeur la plus faible entre le 5e percentile de la charge critique des lacs et le 5e percentile des polygones de sol. La légende ci-contre indique le modèle qui a été sélectionné pour évaluer chaque maille de la grille : rouge = Expert (aquatique), jaune = SSWC (aquatique), vert = SMB (sols forestiers bien drainés). La composante des sols forestiers a été obtenue par la superposition de la grille sur la carte du dépassement des charges critiques des polygones de sol. La carte des charges critiques des sols forestiers a été produite par le Groupe de travail sur la cartographie forestière du Secrétariat des Gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et des premiers ministres de l'Est du Canada (GNA-PMEC) avec la collaboration de l'Ontario, d'Environnement Canada et du Service canadien des forêts de Ressources naturelles Canada.

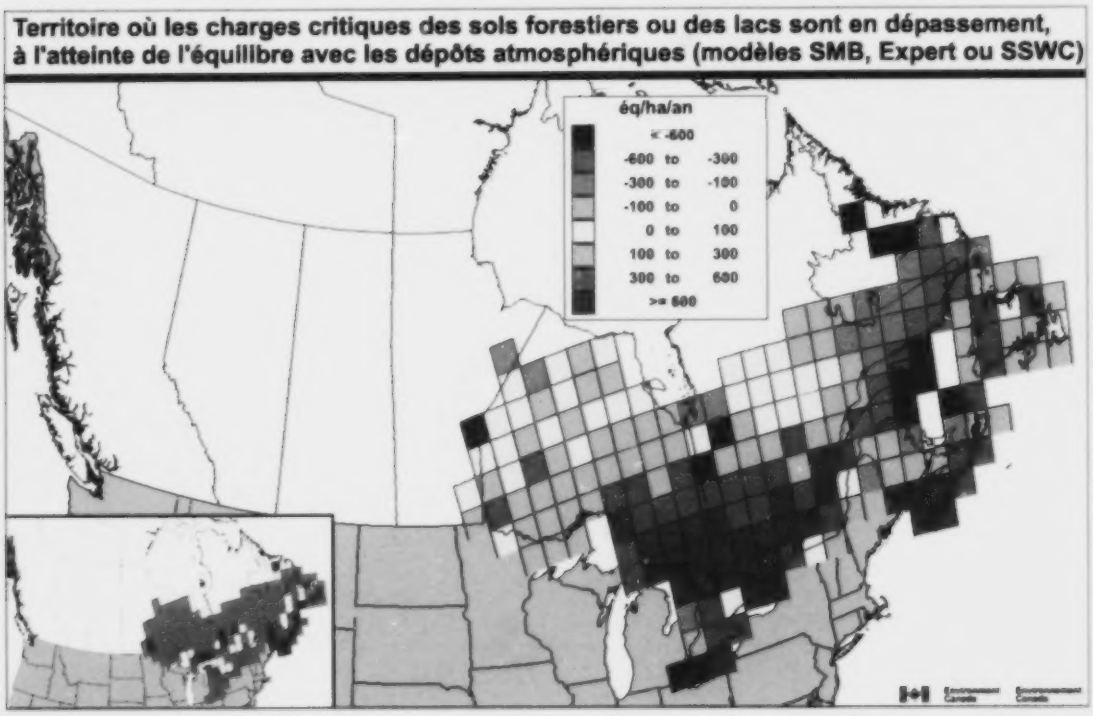


Figure 1.4 : Dépassement des charges critiques d'acidité (S+N) – à l'état d'équilibre avec les dépôts atmosphériques – des milieux aquatiques ou forestiers (dépôts humides et secs exprimés en eq/ha/a) basé sur les dépôts atmosphériques moyens pour la période 1994-1998. Les charges critiques ont été calculées soit à l'aide de modèles de la chimie de l'eau (Expert ou SSWC), soit à l'aide d'un modèle adapté aux sols forestiers (SMB). On a sélectionné comme charge critique, dans une maille donnée, la valeur la plus faible entre le 5e percentile de la charge critique des lacs et le 5e percentile des polygones de sol. La légende (en bas à gauche) indique le modèle qui a été sélectionné pour évaluer chaque maille de la grille : rouge = Expert (aquatique), jaune = SSWC (aquatique), vert = SMB (sols forestiers bien drainés). La composante des sols forestiers a été obtenue par la superposition de la grille sur la carte du dépassement des charges critiques des polygones de sol. La carte des charges critiques des sols forestiers a été produite par le Groupe de travail sur la cartographie forestière du secrétariat des Gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et des premiers ministres de l'Est du Canada (GNA-PMEC) avec la collaboration de l'Ontario, d'Environnement Canada et du Service canadien des forêts de Ressources naturelles Canada.

le calcul du dépassement des charges critiques, d'où la possibilité de rapporter des valeurs de dépassement trop basses.

Dans les régions où il y a dépassement des charges critiques à l'état d'équilibre avec les dépôts atmosphériques, les effets suivants ont été observés :

Effets sur les forêts

Les dépôts acides font partir des sols par lessivage des éléments nutritifs essentiels tels que les cations basiques calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}) et potassium (K^{+}). Cette perte d'éléments nutritifs affecte la santé et la croissance des arbres et épuise la capacité des sols de neutraliser les futures retombées acides de la plus grande partie de l'Est du Canada. Les pertes nettes de cations basiques des bassins versants forestiers dans l'Est du Canada sont répandues, notamment pour ce qui est du Ca^{2+}. Dans une station du centre-sud de l'Ontario, on a rapporté que les réserves en Ca^{2+} du sol avaient décliné jusqu'à 30 % depuis le début des années 1980[9]. Le déclin récent des dépôts atmosphériques de sulfate a entraîné une diminution des pertes nettes en Ca^{2+}, ce qui a ralenti le taux d'acidification des sols; cependant, des pertes répandues de Ca^{2+} (et, dans certains cas, de Mg^{2+}) se produisent encore aujourd'hui dans l'Est du Canada.

[9] Watmough, S.A., Dillon, P.J. 2004. Major element fluxes from a coniferous watershed in central Ontario, 1983-1999. Biogeochemistry 67, 369-398. En anglais seulement.

Bien que le taux d'acidification des sols ait ralenti, des réductions supplémentaires des dépôts acides doivent s'appliquer pour que l'on atteingne la valeur des charges critiques des sols forestiers bien drainés et ainsi prévenir l'appauvrissement des teneurs en cations basiques de leurs sols sous le seuil considéré inadéquat pour maintenir la santé des forêts et leur productivité. Actuellement, de nombreuses régions forestières de l'Est du Canada reçoivent des retombées acides qui excèdent leur charge critique. En Ontario, on a observé que la croissance des érables à sucre était plus faible dans les régions où il y avait dépassement de la charge critique des sols[10]. L'analyse des données du Réseau d'étude et de surveillance des écosystèmes forestiers du Québec a montré qu'entre les années 1970 et 1990, les peuplements forestiers feuillus et résineux, situés dans les régions où il y avait dépassement de la charge critique, affichaient un taux de croissance de 30 % plus faible que les peuplements forestiers situés dans les régions où il n'y avait pas eu ce dépassement de la charge critique[11]. Même avec l'application de réductions importantes des émissions acidifiantes, le rétablissement des sols de l'acidification (c.-à-d. le remplacement des cations basiques perdus) sera probablement très lent en raison du processus lui-même très lent de l'altération des minéraux primaires, leur principale source de cations basiques.

LA CHIMIE DU MILIEU AQUATIQUE ET DU SOL

Beaucoup de lacs de l'Est du Canada sont encore acidifiés (c.-à-d. qu'ils ont perdu partiellement ou entièrement leur capacité de neutraliser l'acidité) et ne satisfont pas la condition du pH≥6 de la charge critique; voilà un seuil critique clé pour la nourriture des poissons et d'autres biotes du milieu aquatique. Dans l'Est du Canada, entre environ 25 % (Nouveau-Brunswick) et 40 % (Ontario) des lacs échantillonnés accusaient un pH<6. Ces pourcentages comprennent les lacs qui sont naturellement acidifiés par les acides organiques associées au carbone organique dissout (COD). Ces types de lacs sont largement répandus en Nouvelle-Écosse et, dans une moindre mesure, à Terre-Neuve; par contre, ils ne sont pas communs dans les autres provinces. En Nouvelle-Écosse, 80 % des lacs échantillonnés affichaient un pH<6 et on estime que 40 % de ces lacs sont acides en raison de la présence d'acides organiques naturels, ce qui les rendraient incapables d'atteindre cette valeur de pH même si l'on réduisait considérablement des émissions acidifiantes. Dans la majorité des provinces, cependant, le pourcentage de lacs ayant un pH<6 constitue un indicateur valable de l'effet acidifiant des dépôts acides. Les résultats des modèles de la chimie des lacs laissent entrevoir qu'il y aurait de 500 000 à 600 000 (soit environ 15 %) lacs sensibles à l'acidité dans l'Est du Canada (au sud du 52 °N de latitude). Ces lacs qui, historiquement, étaient caractérisés par un pH>6, sont ou seront de pH<6 sous des conditions de dépôts atmosphériques acides qui sont semblables aux conditions actuelles.

La chimie de beaucoup de lacs réagit à la réduction des émissions acidifiantes (c.-à-d. que les lacs deviennent moins acides), mais plusieurs facteurs viennent ralentir ou mitiger cette réaction. Par exemple, il y a de plus en plus de résultats de recherche qui apportent la preuve que ce sont les réserves de cations basiques neutralisateurs d'acidité dans les sols des bassins versants qui déterminent dans quelle mesure les dépôts acides acidifient les eaux de surface. Les pertes nettes en cations basiques sont très répandues dans les bassins versants forestiers de l'Est du Canada, notamment les pertes nettes en calcium (Ca^{2+}). Ainsi, on assiste à une baisse de la capacité des bassins versants de neutraliser les dépôts acides concomitante de la baisse de l'acidité des dépôts atmosphériques.

De plus, la charge en sulfate larguée dans les eaux de surface est plus grande que celle reçue par les dépôts atmosphériques dans la plupart des bassins forestiers de l'Est du Canada. Ce surplus de sulfate résulte probablement de la désorption du sulfate retenu dans les sols, du dégagement de sulfate lors de la décomposition de la matière organique et de l'oxydation attribuable à la sécheresse du soufre réduit stocké dans les milieux humides et autres milieux limités en oxygène. Tous ces phénomènes sont générateurs d'acidité. Ce soufre retenu dans les sols provient des dépôts acides antérieurs. Les modèles d'évaluation des charges critiques des eaux de surface, qui sont basés seulement sur les entrées actuelles de SO_4^{2-} en provenance des dépôts

[10] Watmough, S.A. 2002. A dendrochemical survey of sugar maple in south-central Ontario. Water, Air and Soil Pollution 136, 165-187. En anglais seulement.

[11] Ouimet, R., Duschesne, D., Houle, D., Arp, P.A. 2001. Critical load and exceedances of acid deposition and associated forest growth in the northern hardwood and boreal coniferous forests in Quebec, Canada. Water, Air and Soil Pollution: Focus 1, 119-134. En anglais seulement.

atmosphériques, se trouvent à sous-estimer le dépassement de la charge critique dans les bassins versants qui montrent des pertes nettes considérables en sulfate.

La biologie aquatique

Les algues, les invertébrés et la chaîne alimentaire des oiseaux aquatiques continuent de montrer des effets de l'acidification, notamment dans les lacs et les cours d'eau où les communautés de poissons ont subi des impacts. Les effets de l'acidification se répandent sur tous les réseaux trophiques, altérant la composition des communautés biologiques et la dynamique des écosystèmes. Les impacts comprennent les effets directs de l'acidité, la contamination par les métaux toxiques, la perte de proies et la diminution de la valeur nutritionnelle des proies restantes. Par exemple, la plupart des espèces d'invertébrés sensibles à l'acidité sont absents des lacs acidifiés à des pH<6. Les cyprins et autres petits poissons peuvent disparaître des petits lacs acidifiés et des milieux humides et causer ainsi d'importants changements chez les invertébrés, qui représentent une source de nourriture pour les oiseaux aquatiques nicheurs et d'autres prédateurs des derniers échelons de la chaîne alimentaire. En général, on a observé une augmentation du nombre d'oiseaux aquatiques nicheurs qui sont piscivores (par ex., le plongeon huard, le grand harle) dans une grande partie de l'Est du Canada (Ontario, Québec et Terre-Neuve). Des observations récentes dans la région de Sudbury en Ontario suggèrent que cette augmentation est en partie liée à l'amélioration des conditions d'habitat des lacs qui étaient auparavant endommagés.

Les teneurs élevées en mercure (Hg) trouvées dans les plongons huards, leur couvée et les poissons qu'ils consomment inquiètent toujours. L'acidification des écosystèmes aquatiques entraîne l'augmentation des concentrations de methylmercure toxique dans l'eau, les sédiments, le biote, ce qui fait augmenter les teneurs en Hg dans les proies de la faune piscivore. Les concentrations en Hg dans les plongeons huards adultes, leurs oeufs, leur couvée et leur proies tendent à être plus élevées dans les lacs de bas pH. Les concentrations en Hg les plongeons huards s'accroît suivant un gradient qui va de l'ouest vers l'est dans le sud-est du Canada. Des teneurs élevées en Hg dans les huards sont associées à des impacts sur le rendement de la reproduction, dont des baisses du succès de reproduction, de la croissance des oisillons ainsi que des modifications du comportement des oisillons, qui font augmenter leur risque de mortalité juvénile.

Les populations de saumon atlantique des rivières du bas-plateau du sud de la Nouvelle-Écosse continuent d'être gravement affectées par l'acidification. Dans les rivières qui présentent des pH près du seuil de toxicité (pH 5,0 à 5,4), les saumons risquent fort de mourir, en raison des effets subléthaux qui réduisent leur alimentation et leur croissance, qui augmentent les dommages à leurs branchies et qui perturbent leurs systèmes endocrinien et osmorégulateur. On prévoit que l'espèce saumon de la plupart des rivières du bas-plateau du sud de cette province s'éteindra si le taux de survie des adultes demeure aussi faible qu'actuellement et que si le rétablissement du pH de ces cours d'eau continue d'être retardé.

La santé humaine

Les études épidémiologiques récentes ont rapporté de faibles associations, quoique significatives, entre l'acidité des aérosols ambiants et les paramètres suivants: les symptômes respiratoires, les fonctions pulmonaires affaiblies, le nombre d'admissions dans les hôpitaux et de visites au service d'urgence ainsi que la mortalité prématurée. On a pu identifier à l'aide de différents paramètres de santé quelles étaient les sous-populations sensibles. La toxicité de l'acidité des aérosols peut contribuer à la relation existant entre les MP et la santé. Cependant, il est difficile de séparer les effets des MP de ceux de l'acidité des aérosols parce que les composants des MP mesurés sont généralement hautement corrélés entre eux.

Les nouvelles études cliniques indiquent que, comparativement aux gens normaux, les gens souffrant d'asthme ou d'allergies peuvent être particulièrement sensibles à l'exposition à court terme aux aérosols acides seuls ou à l'exposition séquentielle à de l'acide sulfurique et à l'ozone. Il est à noter cependant que les intensités d'exposition employées dans ces études étaient généralement plus élevées que celles mesurées dans les villes canadiennes.

Les résultats des études toxicologiques chez les animaux suggèrent que l'exposition aux aérosols acides, à des concentrations semblables à celles mesurées dans l'Est du Canada, peut avoir des effets sur les mécanismes de défense immunitaire. Les mélanges de polluants peuvent exercer un effet aggravant (mais pas toujours) sur la santé humaine, contrairement aux effets de l'exposition à des polluants individuels, quoique cela dépende encore

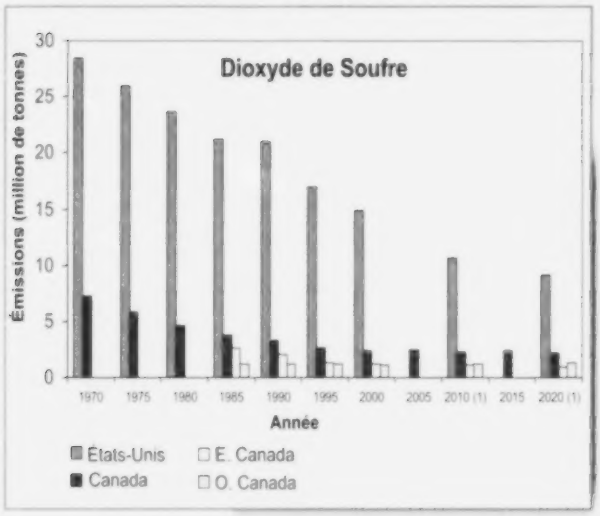


Figure 1.5 : Estimation des émissions de dioxyde de soufre (SO_2) aux É.-U. et au Canada, comprenant l'Est (à l'est du Manitoba) et l'Ouest (à l'ouest de l'Ontario) du Canada. 1 – Les prévisions d'émissions aux É.-U. sont basées sur les résultats sommaires sur les émissions de REMSAD *(Regional Modelling System for Aerosols and Deposition)*.

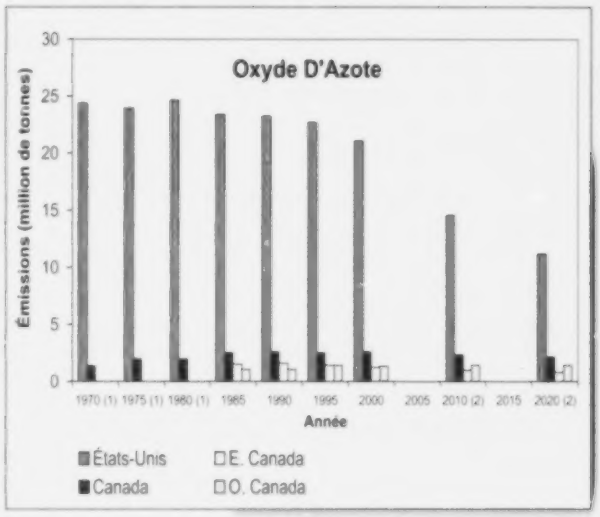


Figure 1.6 : Estimation des émissions des oxydes d'azote (NO_x) produites aux É.-U. et au Canada, comprenant l'Est (à l'est du Manitoba) et l'Ouest (à l'ouest de l'Ontario) du Canada. 1 – L'évaluation des émissions canadiennes de NOx de 1970 à 1980 a été effectuée selon une méthodologie plus ancienne; on ne peut donc les comparer aux émissions de 1985 et aux plus récentes. 2 – Les prévisions d'émissions aux É.-U. sont basées sur les résultats sommaires d'émissions de REMSAD *(Regional Modelling System for Aerosols and Deposition)*

du polluant en cause, de la concentration relative de chaque polluant dans le mélange et des paramètres de santé mesurés.

2. Quelles sont les tendances actuelles des émissions acidifiantes et celles prévues?

Le dioxyde de soufre

Au Canada, les émissions de dioxyde de soufre (SO_2) ont diminué d'environ 50 % entre 1980 et 2000 et il est prévu qu'elles diminueront d'un 4 % supplémentaire entre 2000 et 2020 (figure 1.5). Ces prévisons d'émissions ne concernent aucune autre réduction d'émissions que celles entendues dès 2003 en vertu des accords canadiens. Dans l'Est du Canada, les émissions de SO_2 ont diminué de 53 % entre 1985 et 2000, tandis que celles de l'Ouest canadien ont diminué de 6 % au cours de cette période. Entre 2000 et 2020, on prévoit que les émissions de SO_2 diminueront de 21 % dans l'Est du Canada et augmenteront de 15 % dans l'Ouest canadien. On prévoit que dès 2010, les émissions de SO_2 dans l'Ouest canadien dépasseront celles produites dans l'Est du pays.

Aux É.-U., les émissions totales de SO_2 ont diminué d'environ 40 % entre 1980 et 2000 et il est prévu qu'elles baisseront d'environ 38 % entre les années 2000 et 2020 (figure 1.5). Dans ces prévisions d'émissions, on n'a considéré aucune autre réduction d'émissions que celles prévues par l'Accord Canada-Etats-Unis sur la qualité de l'air et acceptées depuis 2003.

Les oxydes d'azote

Dans l'ensemble du Canada, les émissions d'oxydes d'azote (NO_x) sont demeurées relativement constantes entre 1985 et 2000, mais on prévoit qu'elles diminueront d'environ 17 % entre 2000 et 2020 (figure 1.6). Dans ces prévisons d'émissions, on n'a considéré aucune autre réduction d'émissions que celles devant être appliquées au Canada dès 2003 en vertu des accords. Dans l'Est du Canada, les émissions de NO_x ont diminué de 17 % entre 1985 et 2000 et on projette qu'elles diminueront d'environ 39 % entre 2000 et 2020. Dans l'Ouest canadien, les émissions de NO_x ont augmenté de 29 % entre 1985 et 2000 et on projette qu'elles augmenteront d'environ 5 % entre 2000 et 2020. Depuis l'an 2000, les émissions

de NO_x produites dans l'Ouest canadien ont dépassé celles produites dans l'Est du pays. On prévoit que jusqu'en 2020, les émissions de NO_x produites dans l'Ouest canadien continueront de dépasser celles produites dans l'Est du Canada.

Aux É.-U., les émissions de NO_x ont légèrement diminué entre 1985 et 2000 ; mais on prévoit qu'elles diminueront d'environ 47 % en 2020 par rapport aux quantités émises en l'an 2000 (figure 1.6). Dans ces prévisions d'émissions, on n'a considéré aucune autre réduction d'émissions que celles prévues par l'Accord Canada-Etats-Unis sur la qualité de l'air et acceptées depuis 2003.

3. D'où proviennent les sources industrielles majeures des émissions acidifiantes qui affectent les écosystèmes canadiens?

Quelles sont les sources industrielles majeures des émissions acidifiantes au Canada et aux É.-U.?

Au Canada, les sources majeures des émissions acidifiantes proviennent des secteurs de l'exploitation minière et la fusion des métaux non ferreux, de la production d'électricité, du secteur amont de l'industrie pétrolière et gazière et du transport.

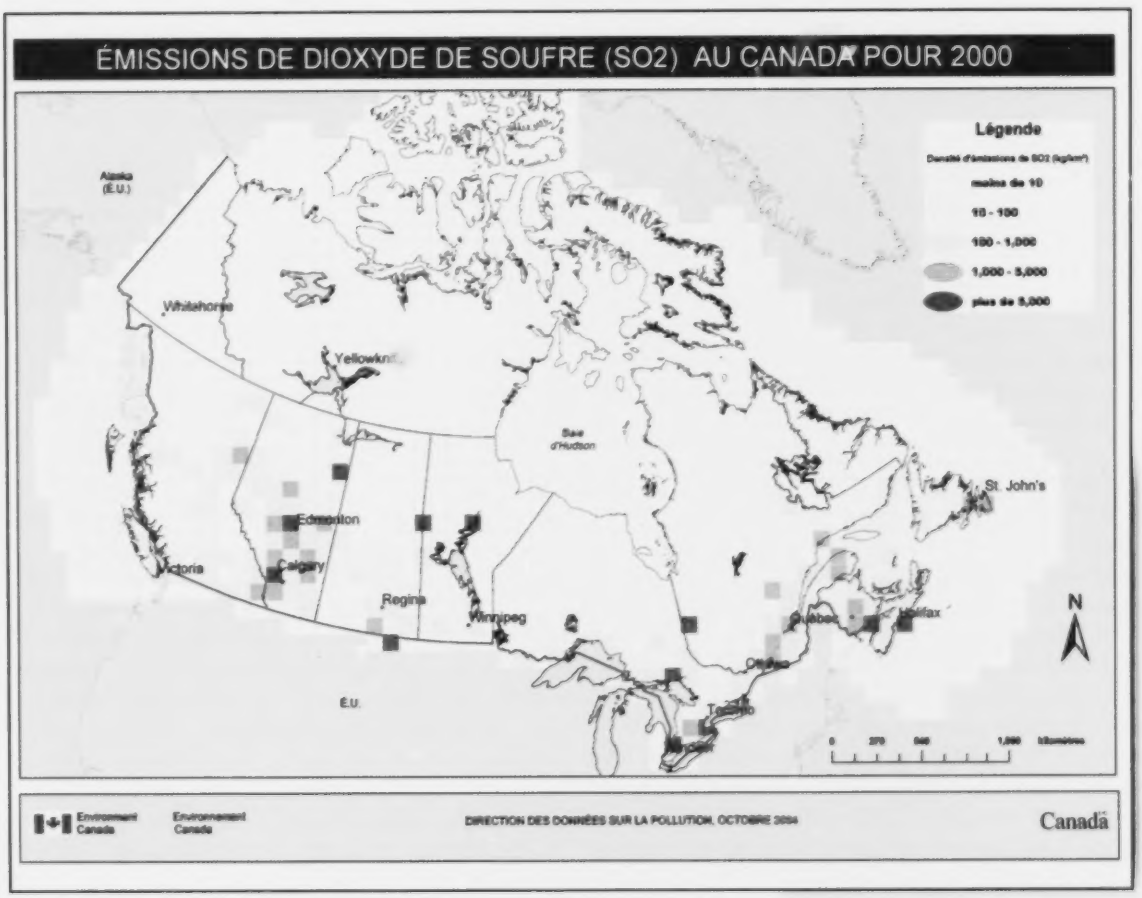


Figure 1.7 : Distribution des émissions de dioxyde de soufre (SO_2) au Canada en 2000 (kg/km^2).

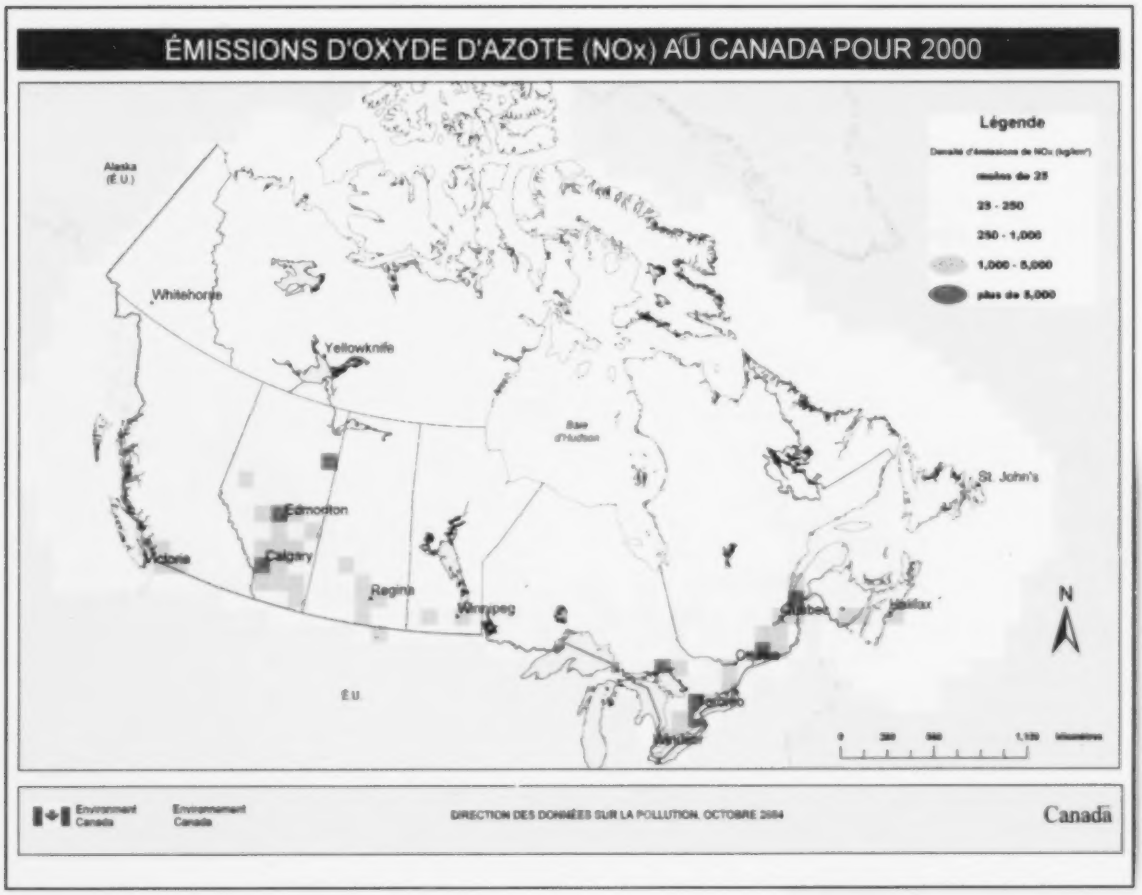


Figure 1.8 : Distribution des émissions des oxydes d'azote (NO_x) au Canada en 2000 (kg NO_2/km^2).

Les secteurs sources des émissions de SO_2 et de NO_x dans l'Est du Canada se concentrent le long du corridor Windsor-Québec, avec des points chauds situés dans le centre de l'Ontario, le centre du Québec, le centre-sud du Nouveau-Brunswick, le centre-est de la Nouvelle-Écosse et à Terre-Neuve (figures 1.7 et 1.8). Le corridor Windsor-Québec très urbanisé comprend des secteurs sources d'émissions tels que la génération thermique d'énergie électrique et le transport routier. Les points chauds du centre de l'Ontario et du centre du Québec sont là où il s'y fait de l'exploitation minière et de la fusion des métaux non ferreux. Les points chauds du centre-sud du Nouveau-Brunswick, du centre-est de la Nouvelle-Écosse et de Terre-Neuve sont associés à la production d'électricité et à la production d'autres émissions indutrielles (par ex., de l'exploitation minière et des pâtes et papiers).

Dans l'Ouest canadien, les grands secteurs sources d'émissions de SO_x et de NO_x se trouvent en Alberta et dans des points chauds situés au Manitoba et en Saskatchewan. Les émissions émanant de l'Alberta proviennent principalement de la génération thermique d'énergie électrique, du secteur amont de l'industrie pétrolière et gazière et des raffineries de pétrole. En Saskatchewan, les régions où les émissions sont les plus importantes sont celles où sont installées des stations de génération thermique d'électricité. Les régions où les émissions sont importantes au Manitoba sont associées à l'exploitation minière et à la fusion des métaux non ferreux.

de NO_x produites dans l'Ouest canadien ont dépassé celles produites dans l'Est du pays. On prévoit que jusqu'en 2020, les émissions de NO_x produites dans l'Ouest canadien continueront de dépasser celles produites dans l'Est du Canada.

Aux É.-U., les émissions de NO_x ont légèrement diminué entre 1985 et 2000, mais on prévoit qu'elles diminueront d'environ 47 % en 2020 par rapport aux quantités émises en l'an 2000 (figure 1.6). Dans ces prévisions d'émissions, on n'a considéré aucune autre réduction d'émissions que celles prévues par l'Accord Canada-États-Unis sur la qualité de l'air et acceptées depuis 2003.

3. D'où proviennent les sources industrielles majeures des émissions acidifiantes qui affectent les écosystèmes canadiens?

Quelles sont les sources industrielles majeures des émissions acidifiantes au Canada et aux É.-U.?

Au Canada, les sources majeures des émissions acidifiantes proviennent des secteurs de l'exploitation minière et la fusion des métaux non ferreux, de la production d'électricité, du secteur amont de l'industrie pétrolière et gazière et du transport.

Figure 1.7 : Distribution des émissions de dioxyde de soufre (SO_2) au Canada en 2000 (kg/km²).

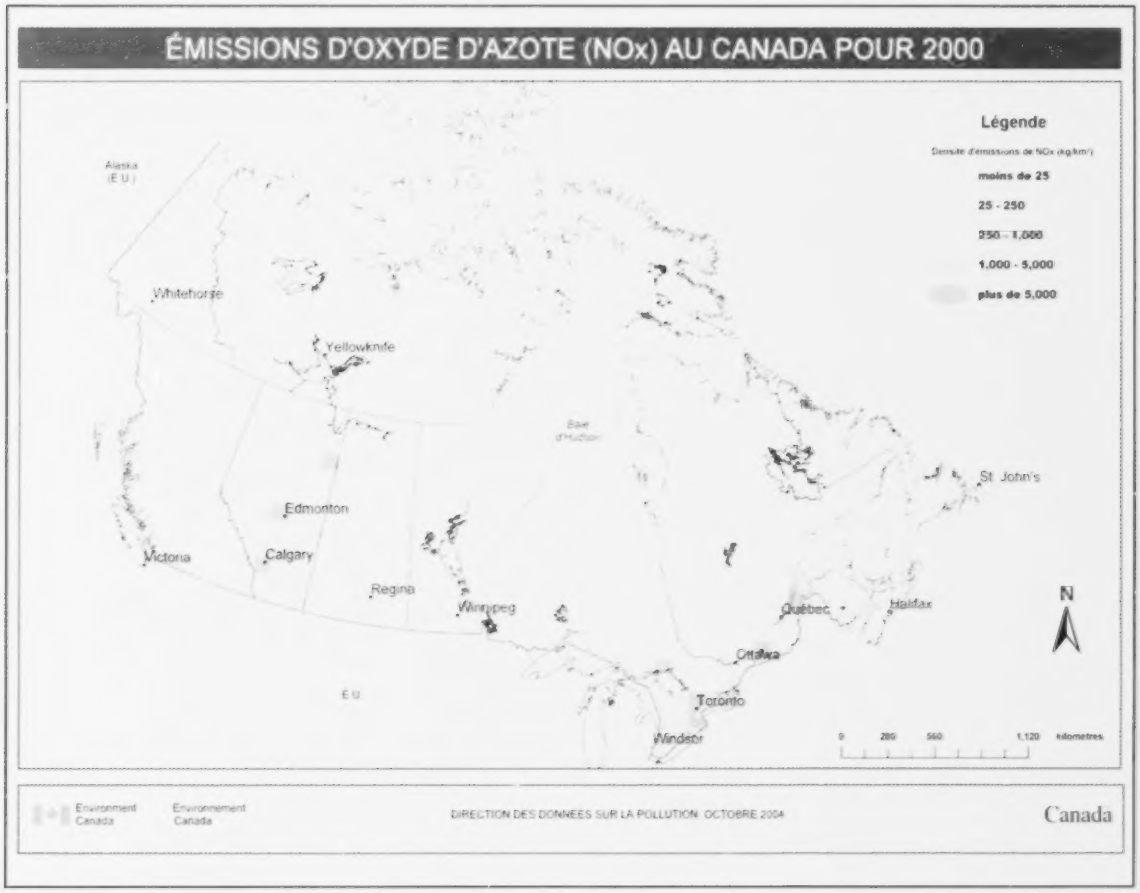


Figure 1.8 : Distribution des émissions des oxydes d'azote (NO_x) au Canada en 2000 (kg NO_x/km²).

Les secteurs sources des émissions de SO_2 et de NO_x dans l'Est du Canada se concentrent le long du corridor Windsor-Québec, avec des points chauds situés dans le centre de l'Ontario, le centre du Québec, le centre-sud du Nouveau-Brunswick, le centre-est de la Nouvelle-Écosse et à Terre-Neuve (figures 1.7 et 1.8). Le corridor Windsor-Québec très urbanisé comprend des secteurs sources d'émissions tels que la génération thermique d'énergie électrique et le transport routier. Les points chauds du centre de l'Ontario et du centre du Québec sont là où il s'y fait de l'exploitation minière et de la fusion des métaux non ferreux. Les points chauds du centre-sud du Nouveau-Brunswick, du centre-est de la Nouvelle-Écosse et de Terre-Neuve sont associés à la production d'électricité et à la production d'autres émissions industrielles (par ex., de l'exploitation minière et des pâtes et papiers).

Dans l'Ouest canadien, les grands secteurs sources d'émissions de SO_2 et de NO_x se trouvent en Alberta et dans des points chauds situés au Manitoba et en Saskatchewan. Les émissions émanant de l'Alberta proviennent principalement de la génération thermique d'énergie électrique, du secteur amont de l'industrie pétrolière et gazière et des raffineries de pétrole. En Saskatchewan, les régions où les émissions sont les plus importantes sont celles où sont installées des stations de génération thermique d'électricité. Les régions où les émissions sont importantes au Manitoba sont associées à l'exploitation minière et à la fusion des métaux non ferreux.

Aux É.-U., les sources majeures des émissions acidifiantes proviennent des secteurs de la production d'électricité et des véhicules routiers. Les émissions majeures de SO_2 et de NO_x qui affectent l'Est des É.-U. prennent source dans la région très industrialisée et urbanisée qui s'étend du sud-est de l'Ohio à la partie ouest de la Virginie et de l'ouest du Kentucky au centre du Tennessee [12].

Quelles sont les principales régions sources des émissions qui affectent les écosystèmes canadiens?

Grâce aux analyses de données des dépôts humides et secs, à l'utilisaton de techniques d'attribution des sources et de modèles de l'atmosphère, les chercheurs ont pu déterminer les régions d'où proviennent les émissions acidifiantes qui affectent les écosystèmes canadiens.

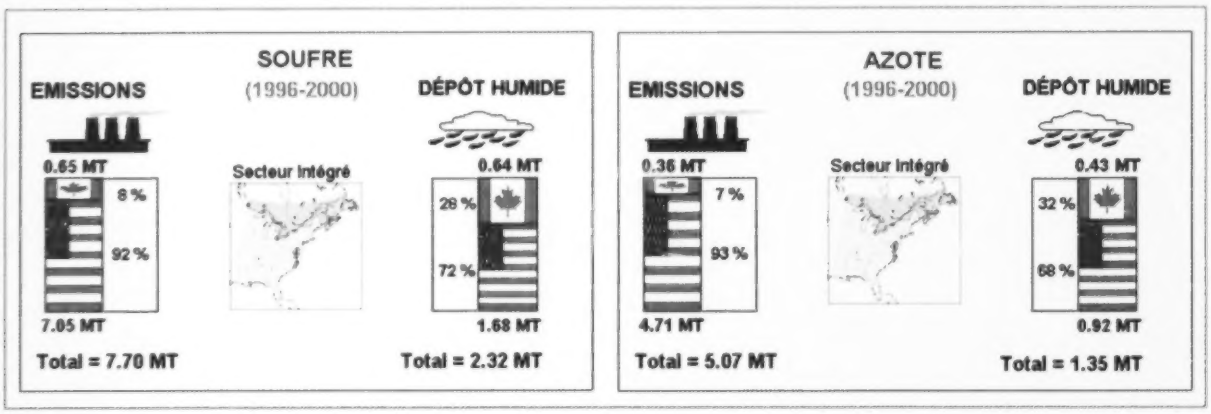


Figure 1.9 : Moyennes sur cinq ans (1996-2000) des émissions totales (mégatonnes; MT) et des dépôts humides (MT) de soufre et d'azote dans l'Est du Canada et l'Est des É.-U. (les superficies apparaissent dans l'encadré). Les valeurs en pourcentage indiquent les proportions des émissions totales et des dépôts humides produites par les deux pays.

À l'intérieur du territoire de l'Est du Canada, c.-à-d. dans la zone délimitée par la frontière Manitoba-Ontario, Terre-Neuve, la frontière Canada-É.-U. et le 51 °N de latitude, les sources canadiennes y émettent moins de 10 % des émissions totales de SO_2 et de NO_x de tout l'Est de l'Amérique du Nord. Cette zone reçoit pourtant approximativement 30 % des dépôts atmosphériques humides de sulfate et de nitrate émis dans l'Est de l'Amérique du Nord (figure 1.9). Ce déséquilibre important est dû aux émissions du Midwest et de l'Est des É.-U. transportées jusque dans l'Est du Canada puis retombant sous forme de retombées humides. On estime qu'entre 45 et 70 % des dépôts atmosphériques humides de sulfate et de nitrate de l'Est du Canada proviendraient de l'Est des É.-U.[13].

On a utilisé les données de dépôts atmosphériques humides et secs colligées par le Réseau canadien de surveillance des précipitations acides (RCSPA), combinées aux trajectoires des masses d'air, pour estimer la contribution des différentes régions sources des émissions en Amérique du Nord aux retombées en soufre et en azote à des endroits spécifiques au Canada. En Ontario, au Québec et en Nouvelle-Écosse, on estime que 50 à 70 % des dépôts de soufre et d'azote tombés dans toutes les stations de mesures du RCSPA, situées à l'intérieur de 200 km de la frontière américaine, proviennent des émissions américaines et du sud de l'Ontario et du Québec (figure 1.10). Les 30 à 50 % des dépôts restants reçus par ces stations sont issus des sources canadiennes situées au nord, à l'ouest et à l'est

[12] Sous-comité de la coopération scientifique (SC2) – Comité sur la qualité de l'air (2004) Canada-États-Unis évaluation scientifique des particules transfrontalières. 129pp.

[13] Basé sur le calcul du bilan de masse.

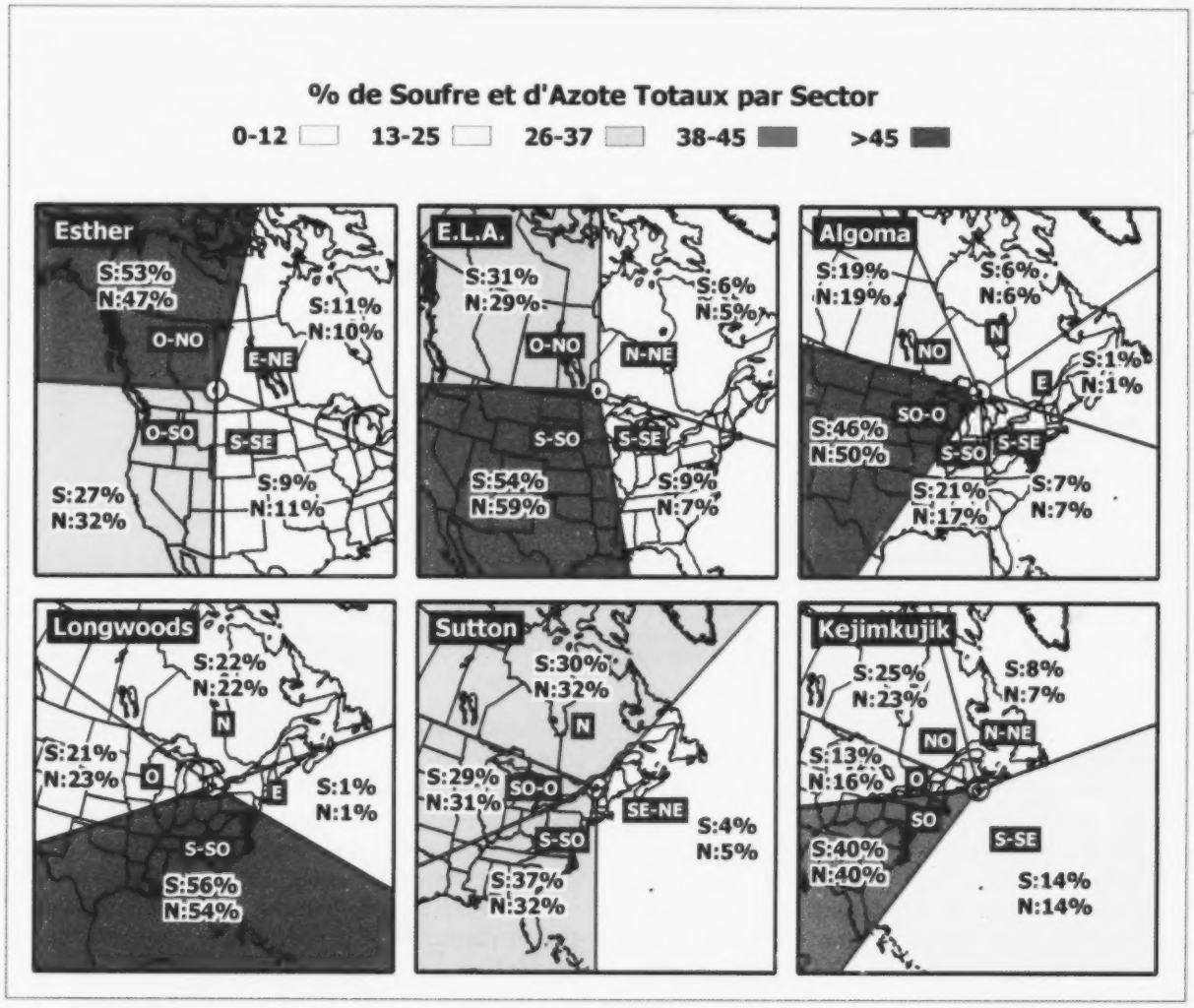


Figure 1.10 : La contribution (en pourcentage) des différentes régions sources aux dépôts atmosphériques totaux de soufre et d'azote dans les stations du RCSPA de tout le Canada.

de celles-ci; les régions situées à l'est des stations du RCSPA sont celles qui contribuent le moins aux dépôts acides quelle que soit la station. Les sources d'émissions américaines dans les états des Grands Lacs, de la vallée fluviale de l'Ohio et du Midwest sont les sources qui semblent exercer dans l'Est du Canada le plus grand impact sur les dépôts atmosphériques humides et secs (figure 1.10).

Dans l'Ouest canadien, il existe peu de données disponibles pour évaluer l'attribution des sources d'émissions. Dans une station de mesures située dans les prairies près de la frontière entre l'Alberta et la Saskatchewan, environ 45 à 55 % des dépôts humides et secs sont attribuables à des sources d'émissions qui proviennent du centre et du nord de l'Alberta et de la Colombie-Britannique (figure 1.10). Les sources d'émissions du sud de l'Alberta et de la Colombie-Britannique et du nord-ouest des É.-U. comptent pour environ 30 % des dépôts humides et secs dans cette station, tandis que les sources d'émissions à l'est de la station comptent pour environ 30 % des dépôts humides et secs restants.

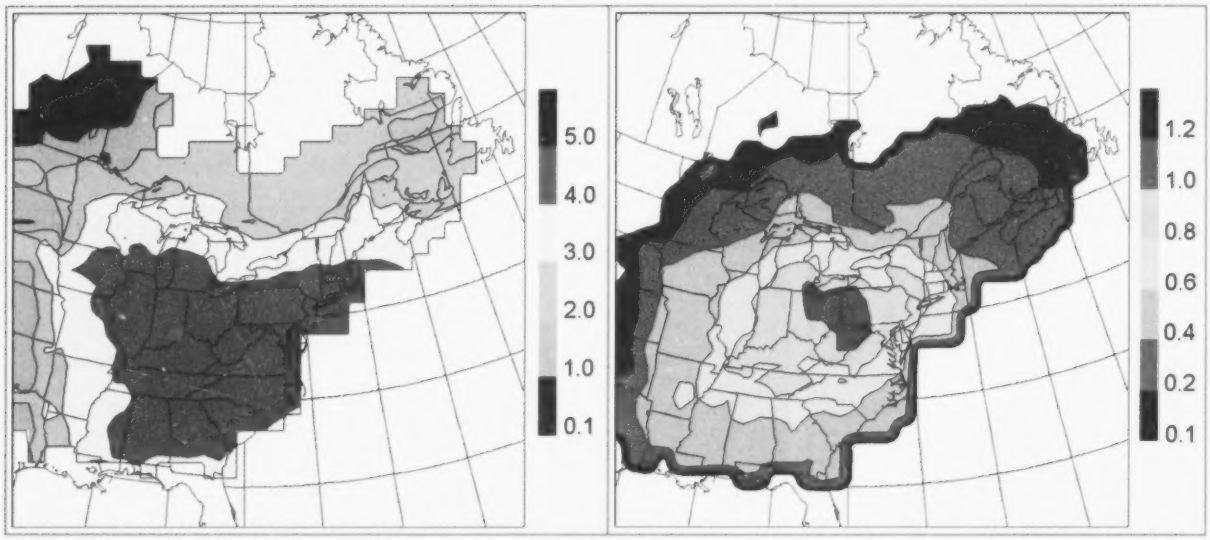


Figure 1.11 : Illustration de la différence dans les quantités de sulfate présentes dans les dépôts atmosphériques humides exprimées (a) kg SO_4^{2-}/ha/a et en b) pourcentage (calculé selon (PST2010A - PST2010B) / CCUSA2), établies d'après deux scénarios MDAO de contrôle des émissions de SO_2 : le scénario « PST2010A »[14] et le scénario « PST2010B »[15]. Exprimée en termes d'émissions annuelles de SO_2, la différence de quantités prévues aux É.-U. entre les deux scénarios correspond à 611 ktonnes/a, soit 5% des émissions des É.-U. considérées dans le scénario « CCUSA2 »[16]. (Note: 1 kg SO_4^{2-}/ha/a équivaut à 20,8 eq/ha/a).

On a utilisé les modèles de chimie de l'atmosphère pour déterminer quelles sources démissions affectaient les écosystèmes canadiens. Les résultats du Modèle de dépôts acides et de polluants oxydants (MDAO) laissent suggérer que les émissions de SO_2 et de NO_x du Canada et des É.-U. contribuent à acidifier les dépôts atmosphériques dans l'Est du Canada. On en est arrivé à cette conclusion après avoir comparé les diminutions de sulfate présent dans les retombées humides résultant de différents scénarios de réduction d'émissions de la part du Canada et des É.-U. La figure 1.11 illustre l'exemple d'un scénario de réduction où 1) les É.-U. réduiraient d'un 5 % supplémentaire leurs émissions par rapport aux réductions prévues en 2010 dans l'AQA (les réductions équivalent à 611 ktonnes/a) et où 2) le Canada ne contribuerait pour aucune réduction supplémentaire que celles prévues dans cet accord. Selon ce scénario, les réductions de sulfate contenu dans les retombées atmosphériques humides de l'Est du Canada seraient de plus de 0,8 kg SO_4^{2-}/ha/a dans le sud-ouest de l'Ontario et jusqu'à 0,1 – 0,4 kg SO_4^{2-}/ha/a dans les provinces de l'Atlantique et le centre du Québec et de l'Ontario. En termes de pourcentage (figure 1.11b), ces réductions correspondent à des diminutions de 1 à 4 % de sulfate dans les précipitations humides que reçoivent l'Est du Canada par rapport au scénario 2010 de l'AQA, avec les diminutions relatives les plus importantes prévues dans le sud de l'Ontario, le sud du Québec, le Nouveau-Brunswick et la Nouvelle-Écosse.

La figure 1.12 illustre ce qu'il adviendrait du scénario inverse, c'est-à-dire 1) si le Canada réduisait d'un 32 % supplémentaire ses émissions de SO_2 par rapport aux émissions projetées de 2010 (qui équivalent à

[14] Dans le scénario PST2010A, on assume que l'Ontario a réduit ses émissions annuelles de SO_2 d'un 50 % supplémentaire par rapport au plafond établi dans le Programme de lutte contre les pluies acides dans l'Est du Canada (885 contre 443 ktonnes SO_2/a), le Québec, d'un 45 % supplémentaire (500 contre 275 ktonnes/a) et le Nouveau-Brunswick et la Nouvelle-Écosse d'un 25 % supplémentaire (respectivement 175 contre 131 et 194 contre 146 ktonnes/a). On assume que les É.-U. réduiront les émissions annuelles de SO_2 de 55 % supplémentaire par rapport aux concentrations d'émissions projetées en 2010 tels qu'elles sont prévues selon l'Accord Canada-É.-U. sur la qualité de l'air (12,446 contre 5,578 ktonnes/a).

[15] Ce scénario est très semblable au scénario PST2010A. La seule différence est que les émissions de SO_2 des É.-U. sont réduites de 40 % par rapport aux concentrations d'émissions prévues de 2010, ce qui équivaut à une réduction de 60 %, comparativement à la réduction de 55 % considérée dans le scénario PST2010A.

[16] Le scénario CCUSA2 prévoit les dépôts atmosphériques en 2010 à partir des concentrations d'émissions de SO_2 qui se produiront lorsque sera complété le Programme 1985 de lutte contre les pluies acides dans l'Est du Canada et les exigences du «Titre IV» et des Phases 1 et 2 des amendements du Clean Air Act de 1990 aux É.-U.

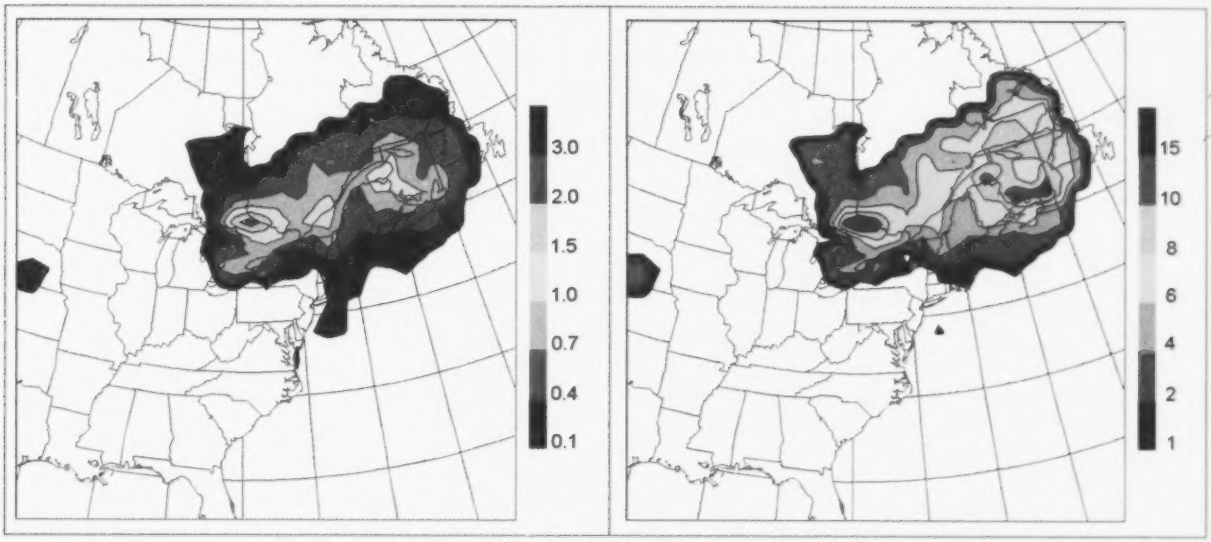


Figure 1.12 : Pllustration de la différence dans les quantités de sulfate présentes dans les dépôts atmosphériques humides exprimées en a) kg SO_4^{2-}/ha/a et en b) pourcentage (calculé selon (CCUSA2 - 5CONLY) / CCUSA2), établies d'après deux scénarios MDAO de contrôle des émissions de SO_2 : le scénario « CCUSA2 » (voir note de bas de page no. 16) et le scénario « 5CONLY »[17]. Exprimée en termes d'émissions annuelles de SO_2, la différence de quantités prévues au Canada à partir des deux scénarios correspond à 619 ktonnes/a ou à 32 % des concentrations d'émissions du scénario « CCUSA2 ». (Note: 1 kg SO_4^{2-}/ha/a équivaut à 20,8 eq/ha/a).

619 ktonnes/a) et 2) les É.-U. ne contribuaient pour aucune autre réduction supplémentaire que celles prévues par l'AQA. Dans ce cas, les sulfates diminueraient jusqu'à 15 % dans les précipitations de l'Est du Canada (de 0,1 à 3,0 kg SO_4^{2-}/ha/a), les diminutions étant prévues le long du corridor Sudbury, ON – Rouyn, QC et près de l'Île-du–Prince-Édouard. Des diminutions aussi importantes que 5 % s'enregistreraient aussi dans le nord-est des É.-U. à la suite des réductions d'émissions réalisée par le Canada. Étant donné que la réduction totale des émissions de SO_2 est presqu'identique dans ces deux scénarios, ces résultats montrent que la réduction d'une tonne de SO_2 des émissions canadiennes créerait un plus grand impact au Canada que la réduction d'une tonne de SO_2 des émissions arrivant des É.-U.

Pour l'Ouest canadien, les résultats du RELAD (modèle régional lagrangien des dépôts acides) et du modèle lagrangien du SEA pour le soufre (MLSS) permettraient d'affirmer que les principaux agents responsables de l'acidité des retombées atmosphériques émanent des émissions canadiennes de SO_2 et de NO_x. Cette affirmation est basée sur l'examen des cartes continentales des émissions et de la comparaison des prévisions des modèles avec des données observées. La figure 1.13 donne l'exemple des prévisions estimées par RELAD de 30 ans de retombées annuelles moyennes de sulfate et de nitrate basées sur les données d'émissions de 1995. Les pics de la figure 1.13a indiquent la présence de retombées humides de sulfate suivant, de l'ouest vers l'est, le corridor Calgary-Edmonton puis les régions de Fort McMurray en Alberta et de Flin Flon et de Thompson au Manitoba. La figure 1.13b indique que des pics d'émissions de retombées humides chargées en nitrate se produiront en Alberta le long et à l'est du corridor Calgary-Edmonton, ce qui est cohérent avec les observations relevées sur les différentes sources de SO_2 et de NO_x émises dans l'Ouest canadien.

[17]Ce scénario simple est très semblable à celui du CCUSA2. La seule différence est que les émissions canadiennes de SO_2 dans l'Est du Canada (la zone de gestion des oxydes de soufre (ZGOS) ont baissé de 50 % par rapport aux plafonds provinciaux accordés par le Programme de lutte 1985 contre les pluies acides de. Le domaine du modèle MDAO est approximativement le même que la ZGOS dans le sud-est du Canada.

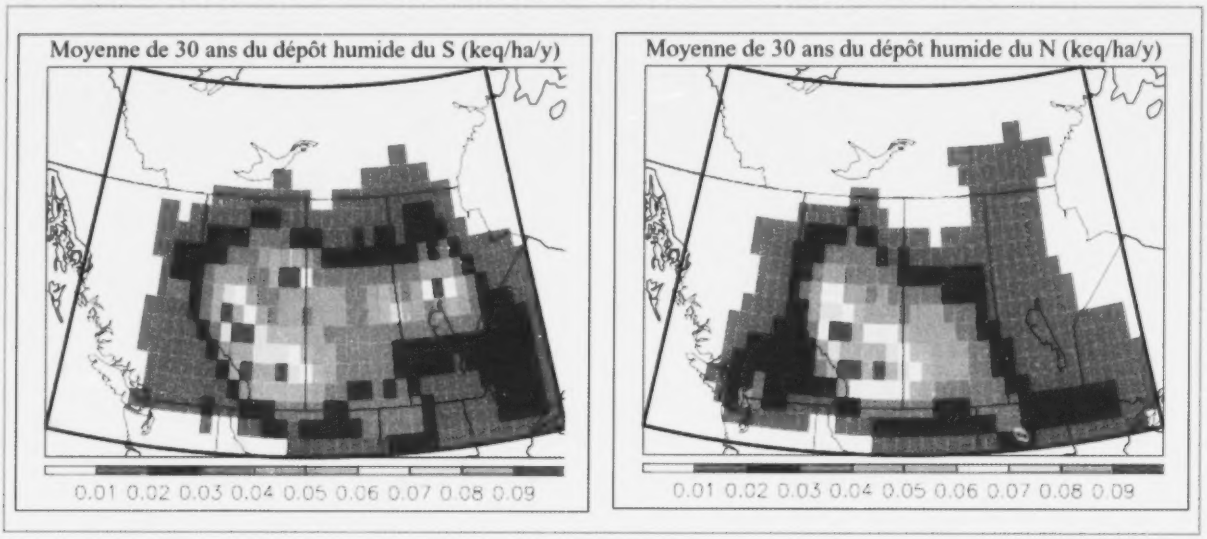

Moyenne de 30 ans du dépôt humide du S (keq/ha/y)
0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07 0.08 0.09
Moyenne de 30 ans du dépôt humide du N (keq/ha/y)
0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07 0.08 0.09

Figure 1.13 : Dépôts atmosphériques de soufre et d'azote (keq/ha/a) prévus par RELAD; prévisions basées sur les conditions météorologiques moyennes du cours des années 1971 à 2000 et sur les données d'émissions canadiennes de 1995. Le domaine couvert par RELAD est indiqué par la ligne noire pleine. Chaque maille de la grille représente 1° de latitude par 1° de longitude. (Note: 1 keq/ha/a de dépôt atmosphérique humide de soufre équivaut à 48,1 kg/ha/a tandis que 1 keq/ha/a de dépôt atmosphérique d'azote équivaut à 62,1 kg/ha/a).

4. Faut-il réduire davantage les émissions produites au Canada et aux É.-U.? Si oui, de combien faut-il le faire et où sont situées les sources?

Il est clair qu'il faille réduire les émissions de SO_2 et de NO_x qui affectent l'Est du Canada : les dépôts atmosphériques de soufre et d'azote dépassent actuellement les charges critiques des milieux aquatiques et des forêts d'un vaste territoire de cette région. Dans l'Ouest canadien, le manque de données pour évaluer les charges critiques ne permet pas de déterminer s'il y a nécessité de réduire les émissions.

Le modèle MDAO prévoit que les charges critiques de sulfate des écosystèmes aquatiques[18] seront encore dépassées dans le centre de l'Ontario et au Québec, même si l'on utilise les données les plus vraisemblables dans l'estimation des émissions futures de SO_2, et ce, même si on réduisait les émissions de SO_2 du Canada et des É.-U. de 50 % de plus que les réductions prévues d'ici 2010 dans le cadre de l'AQA. Ces estimations correspondent aux prévisions données par le modèle MDAO d'après des scénarios similaires présentés dans le rapport d'évaluation de 1997[1]. On prévoit que le dépassement des charges critiques en sulfate du milieu aquatique calculés en 1997 ne pourrait être évité qu'en envisageant le scénario de contrôle des émissions qui exige une réduction supplémentaire des émissions de SO_2 de 75 % par rapport aux réductions actuellement prévues au Canada et aux É.-U. dans le cadre de l'AQA en 2010. Il est important de souligner que les charges critiques calculées en 1997 ont été révisées dans le cadre de l'évaluation 2004 et que de nouvelles estimations des charges critiques des écosystèmes aquatiques et forestiers ont été effectuées. Ces nouvelles estimations se révèlent plus faibles que celles publiées dans le rapport d'évaluation de 1997 dans beaucoup de régions, et plus élevées dans quelques autres. Par conséquent, on considère que des réductions des émissions de SO_2 plus importantes que 50 ou 75 % seraient nécessaires pour ne pas dépasser ces nouvelles estimations de charges critiques.

Pour que l'on atteigne dans l'Est du Canada et l'Est des É.-U. les 75 % de réductions d'émissions nécessaires pour ne pas dépasser les charges critiques de 1997 des milieux aquatiques, les É.-U. devraient contribuer, en termes de mégatonnes (MT), à une baisse plus importante que le Canada. Cette différence de contribution entre les deux pays s'explique par le fait que les émissions de SO_2 dans l'Est du Canada constitue seulement 9 % des émissions nord-américaines (selon l'estimation des émissions de l'an 2000; voir la figure 1.9).

[18] Selon les charges critiques publiées dans le rapport d'évaluation de 1997 des pluies acides au Canada. En anglais seulement.

Les estimations résultant du modèle MDAO donnent à penser que sur la base de tonne par tonne, la réduction d'une MT d'émissions dans l'Est du Canada les réduiraient davantage dans cette région que si on réduisait un MT d'émissions issues de l'Est des É.-U. Cela s'explique par le fait qu'au Canada, il y a une plus grande proportion des émissions de sources canadiennes qui s'y redéposent par rapport aux sources américaines. Ainsi, bien que les émissions de l'Est des É.-U. doivent être réduites pour atteindre les charges critiques de l'Est du Canada (puisque 45 % ou plus des dépôts en sulfate dans l'Est du Canada sont attribuables à l'apport des émissions américaines), il reste qu'il est plus profitable de réduire l'émission d'une tonne de SO_2 en Ontario et au Québec qu'une tonne de SO_2 en provenance des états de la vallée fluviale de l'Ohio ou du nord-est. Toutefois, réduire les émissions dans les deux pays s'avère la seule mesure capable d'éliminer complètement le dépassement des charges critiques des milieux aquatiques de l'Est du Canada.

Les analyses des données des dépôts atmosphériques sont cohérentes avec les résultats de la modélisation par le modèle MDAO, bien qu'elles ne permettent pas d'estimer l'intensité des réductions des émissions de SO_2 et de NO_x requises pour ne pas dépasser les charges critiques. Les résultats des analyses nous permettent d'affirmer qu'il y aurait lieu de réduire les émissions acidifiantes dans l'Est du Canada, le Midwest et l'Est des É.-U. et l'Ouest canadien si l'on veut réduire l'acidité des retombées atmosphériques dans l'Est du Canada. Dans l'Est du Canada, les plus grandes réductions des émissions doivent avoir lieu en Ontario et au Québec. Aux É.-U., les plus grandes réductions des émissions doivent être appliquées 1) dans les états du Midwest si l'on veut réduire les retombées acides dans le Nord-ouest de l'Ontario; 2) dans les états riverains des Grands Lacs et de la vallée fluviale de l'Ohio si l'on veut aussi réduire les retombées acides dans le reste de l'Ontario et au Québec et 3) dans les états de la vallée fluviale de l'Ohio et la Côte Est si l'on veut réduire les retombées acides du Canada atlantique. Pour réduire le plus efficacement les émissions qui affectent le Canada, il faudait, selon des résultats d'estimations complémentaires, que les mesures de réduction s'appliquent dans les régions suivantes : le tier nord des états du Midwest, les états riverains des Grands Lacs et dans les états de la vallée fluviale de l'Ohio et de la Côte Est. En fait, la réduction des émissions dans le tier sud des états américains ne contribuerait pour le Canada que très peu en définitive à la désacidification des retombées atmosphériques.

5. Réduire les NO_x peut-il compenser pour le besoin de réduire le SO_2? Est-ce que la saturation en azote présente un problème? Quelles sont les impacts de la réduction des émissions de NO_x sur les écosystèmes canadiens?

Le soufre contenu dans les dépôts atmosphériques demeure le principal agent acidifiant des bassins versants de l'Est du Canada; il existe seulement un petit nombre de bassins versants dont l'acidification est attribuable à l'azote, et ce phénomène déclinerait selon l'information scientifique nouvelle. Les charges critiques ont été déterminées par l'analyse séparée des deux composés acidifiants. Les résultats indiquent que réduire les dépôts de sulfate seul peut se révéler dans certains cas une mesure efficace pour réduire le dépassement de la charge critique, tandis que dans d'autres cas, réduire à la fois les dépôts de sulfate et d'azote se révèlent nécessaire (par ex., le bassin versant de la rivière Muskoka en Ontario). Ainsi, selon notre compréhension actuelle du rôle de l'azote dans l'acidification, réduire les émissions de NO_x ne compensera pas pour le besoin de réduire les émissions de SO_2.

Bien que la saturation en azote ne semble pas se poser en problème dans l'Est du Canada, nous savons que la capacité de la portion terrestre des bassins versants de retenir les retombées en azote a des limites. Il est raisonnable de croire qu'une forte réduction des dépôts atmosphériques d'azote préservera plusieurs stations du phénomène de saturation en azote. Pour l'instant, il n'est pas possible d'établir de seuil critique de dépôts atmosphériques d'azote pour le Canada au-dessous duquel ce phénomène ne risquerait aucunement de se produire.

6. Existe-t-il d'autres facteurs qui pourraient faire diminuer l'efficacité des réductions des émissions (par ex., la diminution ou l'augmentation des retombées en cations basiques)?

Ces facteurs existent. Ils se rapportent aux phénomènes suivants :

- Le lessivage des cations basiques diminue la capacité des sols à neutraliser l'acidité des retombées futures; autrement dit, il accroît la vulnérabilité des sols aux dépôts acides.
- Dans les conditions limitées en oxygène prévalentes dans les sédiments des milieux humides, le sulfate

des dépôts atmosphériques est converti en sulfures, des composés d'entreposage stables de cet élément. Lorsque la nappe phréatique s'abaisse aux périodes de sécheresse, l'oxygène pénètre dans ces sols auparavant anaérobiques, oxyde les sulfures et cela les libère sous forme de sulfate. De tels changements climatiques pourraient brouiller la relation attendue entre la baisse des dépôts atmosphériques de sulfate et les concentrations en sulfate dans les lacs et les rivières en causant des variations temporelles des flux de sulfate des bassins versants dominés par les milieux humides.

- On prévoit que la diminution des entrées de sulfate dans les sols, résultant de la réduction des dépôts acides, entraînera le largage (désorption) du sulfate entreposé. Le largage du sulfate dans les lacs et les rivières contrecarre donc les effets de la réduction des émissions de SO_2. La quantité de sulfate entreposée dans les sols susceptible d'être larguée dépend des caractéristiques des sols et de la concentration de sulfate contenue dans les dépôts atmosphériques. Dans les bassins versants, tel que celui de Plastic Lake situé dans la région des lacs expérimentaux du nord-ouest de l'Ontario, on prévoit que pour des décennies à venir le sulfate entreposé dans les sols continuera d'être largué dans les eaux de surface[19].
- La minéralisation (transformation de soufre organique en sulfate inorganique) et l'immobilisation (transformation de sulfate inorganique en soufre organique) sont des processus microbiens qui se produisent simultanément dans les sols. La minéralisation peut devenir une source de sulfate pour les eaux de drainage, à condition que le sulfate largué des composés de soufre organique dépasse son taux d'immobilisation. Un certain nombre d'études ont montré que la minéralisation était responsable de l'exportation nette du sulfate des sols des bassins versants du Canada.
- Lorsque les écosystèmes terrestres deviennent saturés en azote (c.-à-d. qu'ils reçoivent plus d'azote que ce qu'il peuvent en utiliser), ce dernier forme un acide qui peut être lessivé des sols et acidifier les eaux de surface.

7. Est-ce que les écosystèmes affectés montrent des signes de rétablissement à la suite des mesures de réduction des émissions de SO_2 qui ont été appliquées dans le passé ? Dans l'affirmative, comment le rétablissement s'effectue-t-il? Sinon, pourquoi? Et quand et à quelles conditions peut-on s'attendre à un rétablissement considéré acceptable au plan environnemental ? Quel rôle jouent les émissions de NO_x?

On a pas observé jusqu'à présent de rétablissement chimique et biologique à grande échelle dans aucun écosystème, mais certains signes encourageants prouvent que du rétablissement se produit.

Dans l'Est du Canada, aux alentours des fonderies qui ont fortement réduit leurs émissions depuis un certain temps (par ex., à Sudbury et, dans une moindre mesure, à Rouyn-Noranda), on observe une remontée du pH ou d'alcalinité des lacs, une preuve manifeste de rétablissement chimique. Par ailleurs, les lacs du sud-est du Canada qui sont principalement affectés par les sources des dépôts acides transportés sur le longues distances voient leur concentration en sulfate diminuer, malgré la remontée relativement faible de leur pH (ou de l'alcalinité). Cependant, des phénomènes tels que le déclin des cations basiques dans les précipitations et les sols des bassins versants, le largage du soufre induit par les épisodes de sécheresse et les dommages causés aux phénomènes générateurs d'alcalinité dans les lacs limitent – et plus probablement reportent – le rétablissement chimique; le rétablissement biologique devant nécessairement se produire après le rétablissement chimique. En définitive, les lacs se trouveront dans un état plus « dilué » (c.-à-d. à des concentrations ioniques plus basses et ainsi plus sensibles) qu'ils ne l'étaient avant le début de l'acidification.

Il est probable que beaucoup de lacs se rétablissent selon un état différent que leur état d'origine. Dans certains lacs hautement endommagés (par ex., dans la région de Sudbury), les communautés d'algues et de zooplancton réagissent favorablement à la remontée du pH, mais le rétablissement global demeure limité par la présence de métaux toxiques et par des épisodes de réacidification. La recherche expérimentale sur l'acidification a démontré que les écosystèmes aquatiques pouvaient être résilients au stress d'acidité; mais certaines communautés biologiques pourraient demeurer altérées à tout jamais à

[19] Eimers, M.C., Dillon, P.J., Schiff, S.L., 2004. Sulphate flux from an upland forested watershed in south-central Ontario, Canada. Water Air and Soil Pollution 152, 3-22.

la suite du processus lent et complexe de rétablissment. L'augmentation du nombre de huards et d'autres oiseaux aquatiques, qui viennent se reproduire dans le sud-est du Canada marque un signe encourageant du rétablissement, mais le taux de reproduction des huards déclinerait d'après les dernières observations; ce phénomène deviendrait inquiétant s'il se poursuivait et se répandait. On prévoit que la qualité de l'habitat des oiseaux aquatiques qui nichent dans les petits lacs et les milieux humides du sud-est du Canada s'améliorera au bénéfice des oiseaux piscivores (par ex., le plongeon huard et le grand harle) et des petits poissons (par ex., les cyprins), mais ne profitera pas à certains canards plongeurs insectivores (par ex., le garrot à oeil d'or), compte tenu de l'ampleur des modifications chimiques qui prévaudront.

Ces preuves de rétablissement des lacs dans certaines régions corroborent l'hypothèse selon laquelle les propriétés chimiques des sols (concentrations en cations basiques) se rétablissent aussi, puisque ce sont elles qui sont en cause dans la régulation de l'acidité des eaux de surface. Cependant, des données empiriques de même que des résultats de modélisation nous font supposer que les réserves en cations basiques dans les sols continuent à diminuer dans tout le sud-est du Canada, un phénomène qui menace autant le caractère durable des forêts que le rétablissement des lacs et des rivières. Pour qu'il y ait rétablissement des écosystèmes terrestres, il faudrait que les quantités de dépôts acides baissent au point que l'apport de cations basiques dans les sols issu de leur altération chimique et les apports atmosphériques équivalent, voire dépassent, la perte de ces cations par le lessivage d'acides.

Les émissions de NO_x ont aussi un rôle à jouer dans l'acidification des sols des bassins versants de l'Est du Canada, mais dans une moindre mesure que les émissions de soufre, qui demeurent l'agent acidifiant prédominant (représentant en général >90 % du lessivage d'acides des sols). Le nitrate contribue à l'acidification des sols de certains bassins versants, tels que le bassin versant de la rivière Muskoka situé en Ontario.

8. Quels avantages socio-économiques peut-on tirer de l'atténuation des dépôts acides?

Les dépôts acides créent des impacts négatifs sur les lacs, les rivières, les sols, les forêts, la faune sauvage, la diversité biologique, les édifices et la santé humaine. Les avantages socio-économiques de réduire ou d'éviter ces impacts négatifs pourraient être considérables. De plus, les réductions des MP et de l'ozone, engendrées par les réductions des émissions acidifiantes, présenteraient une large gamme d'avantages pour l'environnement, l'économie et la santé humaine.

Les dépôts atmosphériques actuels d'acides qui tombent dans les forêts font, chaque année, perdre au Canada atlantique plus d'un demi million de mètres cubes de bois, en raison des pertes d'éléments minéraux nutritifs que ces dépôts causent. Selon les prix du marché, la valeur de ce bois perdu se chiffre en centaines de millions de dollars par an.

Le déclin des poissons dans les lacs et les rivières de l'Est du Canada crée des impacts considérables sur l'industrie de la pêche, du saumon atlantique en particulier. Le déclin des populations de poissons aura aussi des répercussions non négligeables dans le domaine de la pêche récréative, pour laquelle il s'est dépensé 1,9 milliards $ en 1996.

Les effets corrosifs des dépôts acides peuvent être considérables, notamment pour les pylônes des lignes de transport d'électricité. Les dépôts acides peuvent réduire de 50 % la durée de leur vie espérée et faire grandement augmenter les besoins en réparation et en entretien, qui coûtent des milliers de dollars par an par pylône.

Tout indique que les dommages causés par les dépôts acides à l'intégrité de l'environnement et des écosystèmes causeraient des impacts économiques des plus considérables. En 1996, les Canadiens ont dépensé plus de 12 milliards $ pour des activités reliées à la nature. Ce montant ne représente probablement que la pointe de l'iceberg de la valeur entière que les Canadiens accordent à l'environnement.

Les aérosols acides, les MP et l'ozone peuvent provoquer toute une variété d'effets néfastes pour la santé humaine, qui vont de l'apparition de changements subtils et de symptômes légers jusqu'à des effets plus graves (nécessitant l'hospitalisation), voire jusqu'à la mort prématurée. Les personnes âgées, les enfants et les gens souffrant de problèmes cardiorespiratoires tel que l'asthme semblent constituer le groupe le plus vulnérable aux effets des polluants en circulation dans l'air ambiant. Ces effets font augmenter les coûts des soins médicaux.

La réduction des émissions de SO_2 et de NO_x présentera aussi des avantages considérables qui vont au-delà de la réduction des dépôts acides (voir ci-dessous).

9. Quels liens relient les dépôts acides aux autres polluants? Quelle est l'implication des dépôts acides dans la formation des matières particulaires et de l'ozone ? Dans la pollution par le mercure? Et quelle part prennent-il au phénomène des changements climatiques?

Les matières particulaires

Les précurseurs (SO_2 et NO_x) émis dans l'atmosphère entrent tous les deux dans la formation des MP et des dépôts acides. La relation entre les matières particulaires fines ($MP_{2,5}$) et les différentes concentrations de ces gaz présents dans l'air ambiant est complexe. Les concentrations ambiantes de SO_2 et des $MP_{2,5}$ tendent à long terme à évoluer dans le même sens. La réduction des émissions de SO_2 aurait donc pour effet de réduire les concentrations des $MP_{2,5}$.

La relation entre les concentrations ambiantes de NO_x et les $MP_{2,5}$ est aussi complexe. Cependant, on sait que dans des conditions où le NH_3 est limitatif, la réduction des émissions de SO_2 – sans changement concomitant des émissions de NO_x et de NH_3 – peut se traduire par une augmentation des concentrations des MP, en raison de la formation de particules de nitrate d'ammonium qui se trouve favorisée. Ainsi, les réductions des émissions de SO_2 et de NO_x devraient être réalisées au même moment si l'on veut réduire les MP.

L'ozone

Le précurseur NO_x émis dans l'atmosphère est autant impliqué dans la formation de l'ozone troposphérique (O_3) que des dépôts acides. L'ozone troposphérique se forme par suite de réactions chimiques, les plus communes impliquant les oxydes d'azote, les composés organiques volatils (COV; par ex., les solvants), et la lumière du soleil. De manière générale, l'augmentation des émissions de NO_x fait augmenter l'ozone troposphérique à l'échelle régionale. Mais dans les zones urbaines, ce sont les émissions de COV qui semblent davantage influencer les concentrations d'ozone (les mesures de contrôle des émissions de COV se révèlent plus efficaces pour réduire l'ozone que les mesures qui concernent les NO_x), l'augmentation des émissions de NO_x les faisant plutôt diminuer, un phénomène appelé en anglais « NO_x disbenefit ». Il devient ainsi difficile de prévoir les effets des réductions des émissions de NO_x sur les concentrations d'ozone formé, compte tenu de la relation non linéaire qui existe entre les concentrations de NO_x, de COV et de l'ozone formé.

Les changements climatiques

Les dépôts acides et les changements climatiques sont reliés de différentes façons : 1) la combustion des carburants fossiles constitue la principale source anthropique i) de dioxyde de carbone (CO_2) – un gaz à effet de serre important – ii) et de SO_2 et de NO_x, précurseurs des dépôts acides. Par conséquent, réduire l'utilisation des carburants fossiles aidera à remédier aux deux problèmes; 2) le SO_2 et le NO_x contribuent à la formation de MP et d'ozone troposphérique, lesquels influencent directement – sinon indirectement – le bilan radiatif de l'atmosphère (c.-à-d. la quantité de chaleur et de lumière qui sont réfléchies dans l'espace ou en direction de la terre). La plupart du temps, l'ozone troposphérique produit un effet réchauffant sur le climat, tandis que les particules de sulfate exercent sur lui un effet refroidissant à l'échelle saisonnière; 3) un climat changeant peut modifier les quantités et les patrons de précipitations, lesquels pourraient influencer le transport, la dispersion et les apports atmosphériques des polluants acidifiants; et 4) un climat plus chaud peut favoriser l'augmentation des émissions biosynthétiques de NO_x, de SO_x et de COV. Par exemple, l'augmentaton de la température à la surface du sol peut favoriser les émissions des NO_x produites par les bactéries du sol. Notre capacité de prévoir les effets de l'augmentation ou de la réduction des émissions de SO_2 et de NO_x demeure limitée bien que l'on sache qu'un lien existe entre les dépôts acides et les changements climatiques.

Le mercure

L'émission de mercure et autres émissions polluantes dangereuses agissent en synergie avec le SO_2 et le NO_x pour accroître les effets néfastes des dépôts acides sur les faune aquatique et terrestre. Le taux de conversion du mercure (Hg) en méthylmercure (MeHg) biodisponible toxique augmente avec l'acidité des eaux de surface. Des études récentes ont démontré que la baisse marquée des dépôts atmosphériques de sulfate et de Hg était corrélée aux baisses des teneurs en Hg des poissons et de la faune piscivore, telle que le plongeon huard. C'est pourquoi la réduction des émissions acidifiantes aiderait à atténuer le problème du mercure.

10a. Où doit-on poursuivre les activités de surveillance de l'atmosphère et des écosystèmes ?

La surveillance de l'atmosphère doit se pousuivre dans toutes les stations de surveillance existantes. On doit de plus l'accroître dans l'Ouest et l'Est du Canada afin 1) de vérifier l'efficacité des mesures de contrôle des émissions 2) de fournir des données nécessaires à l'évaluation du dépassement des charges critiques et 3) d'appuyer les études qui portent sur la santé humaine. De nouvelles stations de surveillance des dépôts atmosphériques doivent être établies en priorité en Ontario et à Terre-Neuve, faute d'un nombre insuffisant de stations. L'établissement de stations dans l'Ouest canadien constitue une priorité élevée, car on prévoit que les émissions acidifiantes y augmenteront d'une part et que d'autre part, il en existe très peu.

On doit poursuivre la surveillance des sols et de la chimie aquatique et augmenter la surveillance aux stations dont la charge critique en dépôts acides est dépassée ou risque de l'être. Des données sur la chimie des eaux de surface (par ex., les petits et gands lacs, les rivières et les milieux humides) doivent être collectées pour connaître les tendances du pH et des concentrations en sulfate et en cations basiques. Ces données sont essentielles pour évaluer le degré d'acidification des écosystèmes, leur capacité de s'en rétablir ou leur vulnérabilité à une éventuelle période d'acidification. Elles peuvent également servir à déterminer dans quelle mesure les dépôts acides affectent ou pourraient affecter la diversité biologique.

Les biotes aquatiques, la faune sauvage et les forêts doivent continuer d'être suivis dans les régions où il y a, ou eu, dépassement des charges critiques. Des systèmes de surveillance capables d'intégrer des données de nature chimique et biologique sont nécessaires pour déterminer de quelle façon les changements observés dans les eaux de surface et dans la chimie des sols affectent la diversité biologique et la productivité des écosystèmes et, si nécessaire, pour justifier la mise sur pied d'une gestion de rétablissement des écosystèmes affectés.

10b. Vers quels aspects du problème des dépôts acides devrions-nous centrer les efforts de recherche?

Les émissions

Les efforts de recherche doivent porter sur le développement et l'amélioration de statistiques, de méthodologies et de coefficients d'émission afin de caractériser les émissions qui proviennent des secteurs du transport routier, de l'agriculture, des boulangeries et du chauffage au bois résidentiel.

Actuellement, une forte proportion des débits d'émissions employés pour estimer les émissions en provenance des sources industrielles et domestiques est basée sur d'anciennes mesures effectuées aux É.-U. Ces données auraient besoin d'être ajustées à la réalité canadienne des conditions du temps, des caractéristiques des carburants, des exploitations, des procédés industriels et des pratiques de contrôle des émissions et équipements associés.

On doit améliorer les inventaires d'émissions des composantes qui régissent l'acidité totale des dépôts atmosphériques. Dans le cas de certaines modélisation des effets, on utilise l'acidité totale plutôt que le sulfate, par exemple, comme variable de l'atmosphère. Malheureusement, il est difficile de prévoir adéquatement la variable pH parce que sa mesure requiert la mesure (en concentration ou en dépôts) de tous les composés acidifiants présents dans l'atmosphère, incluant l'ammoniac total et les cations basiques. Or les cations basiques posent un problème particulier à mesurer du fait de leur présence en proportions variables dans dans le matériel crustal (c.-à-d. les poussières libres), la nature de cette forme d'émission n'étant de plus pas encore bien caractérisée.

La surveillance et l'analyse des dépôts atmosphériques

Les dépôts de soufre et d'azote constituent la cible vers laquelle doivent être dirigées les efforts de surveillance de l'atmosphère et des précipitations; ils doivent être mieux caractérisés. L'azote est particulièrement visé parce qu'actuellement, on se trouve à sous-estimer systématiquement les quantités qui se déposent, faute de ne pouvoir mesurer toutes les espèces chimiques qui composent les dépôts. Actuellement, la modélisation peut fournir une estimation des dépôts acides secs et

humides; cependant jusqu'à tout récemment il n'était pas possible de mesurer sur le terrain les dépôts secs seuls sur une base régulière dans de multiples stations. Pour cette raison, il n'a pas été possible de déterminer ni la part précise des dépôts secs contenus dans les dépôts acides, ni la contribution du soufre et de l'azote à l'acidité totale des dépôts atmosphériques ni de valider par des mesures directes les prévisions des dépôts secs seuls. En améliorant la précision des mesures des dépôts atmosphériques totaux, nous pourrons mieux déterminer où et quand il y a dépassement des charges critiques au Canada.

Nous devons augmenter dans l'Est et l'Ouest du Canada le nombre de stations où mesurer les dépôts secs et humides de manière à caractériser les dépôts atmosphériques avec exactitude pour tout le pays. Grâce à ces nouvelles données, on pourra déterminer la distribution spatiale des dépôts secs et humides de tout le Canada et, combinée aux données américaines, de toute l'Amérique du Nord. Ces données aideront à combler notre manque de connaissances sur les régions où les charges critiques des écosystèmes sont dépassées et à améliorer nos évaluations sur l'exposition des humains aux aérosols acides. Enfin, elles constitueront la base nécessaire pour déterminer si les programmes de réduction des émissions au Canada et aux É.-U. se révèlent efficaces à réduire l'acidité des dépôts dans les régions là où c'est nécessaire. Cela est particulièrement important dans l'Ouest canadien où de telles questions demeurent sans réponse, faute de données suffisantes.

De plus, les efforts de recherche devraient davantage être centrés sur le développement de techniques d'analyses statistiques plus élaborées afin qu'on établisse les relations source-récepteur. Il sera ainsi plus facile d'évaluer l'efficacité de nouvelles mesures de réduction des émissions au Canada et aux É.-U.

Les forêts et les sols

Les effets négatifs de la baisse de la fertilité des sols sur la santé des forêts sont de plus en plus rapportés dans les études récentes. Les chercheurs s'inquiètent des effets des dépôts acides sur la productivité des forêts canadiennes situées sur les sols faiblement tamponnés. Il leur est encore difficile de quantifier la relation entre les dépôts acides et la santé des forêts. C'est pourquoi ils veulent intensifier les efforts de recherche en ce sens.

Par ailleurs, il leur est aussi difficile d'évaluer le temps que mettront les sols forestiers et les eaux de surface à se rétablir, car il leur faut connaître le taux d'altération des minéraux des sols et quantifier les réserves en cations basiques des sols pour suivre leur évolution. La recherche doit s'orienter vers l'étude de ces variables du sol et de leur validation.

L'excès de soufre largué des sols peut être en partie reponsable du délai observé dans le rétablissement des lacs et des rivières de l'Est du Canada; cet élément acidifiant supplémentaire n'est pas considéré dans les modèles de calcul des charges critiques. Par conséquent, les processus qui contrôlent la transformation et l'exportation du soufre des sols des bassins versants vers les eaux de surface doivent être étudiés, dans un contexte de diminution des dépôts atmosphériques de soufre.

Par ailleurs, même si le problème de saturation en azote ne semble pas encore affecter l'Est du Canada, il reste que la capacité des forêts à absorber les apports atmosphériques d'azote demeure limitée. La saturation en azote des eaux de surface compte parmi les phénomènes à surveiller dans les stations de recherche existantes de l'Est et de l'Ouest du Canada.

La chimie aquatique

À cet égard, les activités de recherche doivent consister dans la mise sur pied d'un cadre d'inventaire pour tout le Canada et dans l'acquisition de connaissances sur les sols.

Actuellement, notre capacité d'évaluer l'état de la chimie des lacs du Canada est fortement limitée par le manque de données qui proviendraient d'un disposif d'échantillonnage adéquat. Idéalement, il faudrait, pour évaluer l'état actuel des lacs, réaliser un inventaire statistique régional de ceux-ci selon un dispositif tel que les dispositifs d'échantillonnage aléatoire stratifié adoptés aux É.-U. et en Europe du Nord. Si un tel inventaire des lacs était répété (approximativement une fois par décennie – un horaire tournant d'échantillonnage des lacs serait institué pour qu'un dixième des lacs soit échantillonné chaque année) et intégré dans une organisation hiérarchisée de réseaux de surveillance temporelle et de stations spécifiques pour la recherche, il fournirait toute l'information exigée pour évaluer l'état des ressources, leur évolution et les facteurs en cause, enfin, prévoir ce qu'il en adviendrait.

Le biote terrestre et aquatique

Le rétablissement des écosystèmes constitue le principal objectif visé par l'application de mesures de réduction des émissions. Pour l'atteindre, il nous faut connaître les réactions de nature biologique induites par les réductions d'émissions, la capacité de les prévoir, et du rétablissement des habitats qui s'ensuit pour évaluer la justesse des mesures de contrôle et diriger les efforts de gestion et de conservation. Déterminer la nature et le taux du rétablissement biologique requiert la mise sur pied d'une équipe de recherche multidisciplinaire, un système de surveillance capable d'intégrer des données de biologie et d'habitat et des modèles de prévision robustes. L'information amassée servira à déterminer comment la perte continue de diversité biologique influence les fonctions des écosystèmes, information qui permettra de proposer les mesures de réduction des émissions nécessaires à l'atteinte des objectifs de rétablissement fixés.

Beaucoup d'autres facteurs de stress environnementaux viennent influencer la nature du rétablissement des écosystèmes et le rythme auquel ils se rétablissent. Les interactions qui se produisent entre l'acidification et d'autres phénomènes agressants pour les écosystèmes devraient être considérés dans l'amélioration des modèles. Les stress importants comprennent, entre autres, ceux reliés aux problèmes de l'atmosphère et du climat, aux métaux et autres substances toxiques, à l'utilisation des terres et aux pratiques d'aménagement forestier ainsi qu'aux espèces invasives. La connaissance des interactions entre l'acidification et les autres facteurs de stress permettra de fournir des prévisions plus réalistes sur le rétablissement des écosystèmes.

Un système de biosurveillance compatible avec l'inventaire de la chimie des lacs tel qu'on l'a décrit ci-dessus permettrait de constituer une base de données idéale pour évaluer l'état des ressources, déterminer leur évolution et prévoir les conditions biologiques à venir. De telles données nous permettraient d'étudier certains mécanismes spécifiques au rétablissement biologique et certains facteurs, agressants pour les écosystèmes. Les résultats de ces études plus intensives sont requis pour que l'on puisser interpréter adéquatement les tendances observées et raffiner les modèles de prévision.

Peu d'attention jusqu'à présent a été portée sur l'impact que l'acidification produit sur la faune sauvage terrestre. La perte de sources de calcium a le potentiel d'affecter les invertébrés terrestres et la faune sauvage qui en dépendent (par ex., les oiseaux chanteurs). Les effets potentiels de l'acidification sur eux pourraient être évalués avec les données actuelles, bien que ces évaluations gagneraient à être complétées par des études de terrain ciblées.

On devrait déterminer les options de gestion des lacs acidifiés, des milieux humides et des cours d'eau et de leur rétablissement rapide en les analysant sous l'angle de leur efficacité, leur coût et leur rendement global.

Le modèle d'évaluation intégrée (MEI) est employé pour prévoir les réactions chimiques et biologiques de divers scénarios de réduction des émissions de SO_2. Ce modèle représente un outil d'évaluation intégrateur important et il nécessite d'être mis à jour et amélioré de manière à ce qu'il puisse intégrer les connaissances à venir.

Les modèles de la chimie de l'atmosphère

La modélisation des dépôts acides au Canada touche un nombre de domaines pour lesquels il y des besoins en recherche. Depuis peu, les modèles peuvent fournir des prévisions des dépôts atmosphériques secs. Pour valider ces prévisions, nous avons besoin d'observations appropriées de dépôts secs de soufre et d'azote.

Quelques-unes des propriétés clés de l'ammoniac et de l'acide nitrique représentent un champ d'investigation nécessaire pour prévoir plus précisément les dépôts atmosphériques secs et humides ainsi que la formation du smog. Ces prévisions gagnent en importance à mesure que les responsables de l'élaboration des politiques réclament des prévisions « scientifiquement défendables » sur les effets des émissions de multiples polluants sur la qualité de l'air y compris les effets des dépôts atmosphériques acides.

À mesure que les scénarios de contrôle des émissions reflètent davantage la réalité, les efforts nécessaires à la préparation des données d'émissions de manière à les rendre utilisables par les modèles de prévision des dépôts acides s'intensifient. Pour ce faire, nous avons besoin de systèmes plus complexes et plus flexibles de traitement des émissions, de même que de données sur les émissions des principales MP, y compris le matériel crustal (les poussières).

La performance des modèles de prévision sera évaluée sur la base des comparaisons entre les prévisions obtenues avec les données météorologiques compilées de toute l'année utilisées comme variables d'entrée dans les modèles et les nouvelles observations sur la chimie de l'air et des précipitations.

Dans la présente évaluation, les dépôts ont été calculés par des modèles de prévision selon une grille dont les mailles font de 91 à 127 km. Dans certains cas (par ex., près des sources majeures d'émission), l'emploi d'une grille plus fine et d'une meilleure résolution spatiale des émissions amélioreraient l'exactitude des prévisions.

Les aspects socio-économiques

Bien que la recherche en économie de l'environnement évolue, nous devons chercher à connaître la valeur des impacts que causent les dépôts acides. Les quelques modèles d'évaluation économique des dépôts acides existants (par ex., le Modèle d'évaluation de la qualité de l'air d'Environnement Canada) ne permettent pas de considérer adéquatement les avantages environnementaux qui résultent de la réduction des émissions. Les prochains travaux de recherche devraient porter sur l'évaluation des avantages et coûts associés aux effets des dépôts acides sur la croissance forestière et leur rendement, la pêche récréative, la consommation de la faune sauvage et la diversité biologique.

Conclusion

Les réductions des émissions acidifiantes de la part du Canada se sont révélées efficaces. Cependant les dépôts acides continuent encore d'affecter l'environnement et la santé des Canadiens. En effet, selon les estimations allant des scénarios des plus aux moins optimistes, de 21 à 75 % du territoire de l'Est du Canada (ce qui correspond à 0,5-1,8 million km^2) continuent de recevoir des dépôts acides qui dépassent ses charges critiques, malgré le fait que les taux de dépôts acides y aient diminué. On estime qu'une réduction des émissions de SO_2 de l'ordre d'un 75 % supplémentaire sera requise de la part du Canada et des É.-U. – en plus des réductions prévues d'ici 2010 en vertu de l'AQA – si l'on veut préserver les écosystèmes canadiens de l'Est des dommages que les dépôts acides leur causent. Actuellement, les données manquent pour déterminer la capacité des écosystèmes de l'Ouest canadien à absorber des dépôts acides sans qu'ils subissent de dommages; il n'est donc pas possible d'évaluer avec précision dans quelle mesure les dépôts acides les affectent. Les activités de surveillance et de recherche doivent nécessairement se poursuivre si l'on veut acquérir la connaissance de la complexité des impacts subis à long terme par les écosystèmes – certains s'avérant irréversibles – et vérifier l'efficacité des mesures de réduction des émissions. Ces activités de surveillance doivent s'étendre aux provinces de l'Ouest; on doit s'assurer que les dépôts acides n'endommagent pas les écosystèmes de ces régions à la géologie sensible à l'acidité et où les émissions de SO_2 et de NO_x sont en hausse.

Évaluation scientifique 2004 des dépôts acides au Canada: Sommaire des résultats clés

Éditrice/Auteure principale:
Heather A. Morrison
Conseillère scientifique principale,
Pluies acides
Direction de l'évaluation et de l'intégration scientifiques
Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Contributeurs:
Auteurs principaux de l'évaluation
(listés ci-dessous)

Évaluation scientifique 2004 des dépôts acides au Canada

Éditrice:
Heather A. Morrison
Conseillère scientifique principale,
Pluies acides
Direction de l'évaluation et de l'intégration scientifiques
Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Assistante éditrice:
Silvina Carou
Agente scientifique de la qualité de l'air
Direction de l'évaluation et de l'intégration scientifiques
Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Chapitre 1 - Introduction
Heather A. Morrison
Conseillère scientifique principale
Pluies acides Direction de l'évaluation et de l'intégration scientifiques
Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario,
Canada

Chapitre 2 - Les émissions polluantes reliées aux dépôts acides de l'Amérique du Nord
David Niemi
Gestionnaire
Rapports et sensibilisation de l'information Données sur la pollution
Environnement Canada
351, boul. St-Joseph
Gatineau, Québec, K1A 0H3
Canada

Chapitre 3 - Les réactions de l'atmosphère suite aux changements des émissions antérieures
Auteur principal:
Robert Vet
Spécialiste des sciences physiques
Recherche en mesure et en analyse
Direction de la recherche sur la qualité de l'air
Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Contributeurs:
Jeff Brook
Chercheur scientifique
Recherche sur les processus
Direction de la recherche sur la qualité de l'air
Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Chul-Un Ro
Physical Scientist
Measurements and Analysis Research
Air Quality Research Branch
Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Mike Shaw
Spécialiste des sciences physiques
Recherche en mesure et en analyse
Direction de la recherche sur la qualité de l'air
Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Julie Narayan
Spécialiste à l'analyse des données
Recherche en mesure et en analyse
Direction de la recherche sur la qualité de l'air
Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Leiming Zhang
Spécialiste à l'analyse des données
Recherche en mesure et en analyse
Direction de la recherche sur la qualité de l'air
Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Michael D. Moran
Chercheur scientifique
Recherche en modélisation et intégration Direction de la recherche sur la qualité de l'air
Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Maris Lusis
Chef, Recherche en mesure et en analyse
Direction de la recherche sur la qualité de l'air
Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Chapitre 4 - Les programmes de mesures de contrôle des émissions, actuels et proposés: comment affecteront-ils les dépôts acides?
Michael D. Moran
Chercheur scientifique
Recherche en modélisation et intégration
Direction de la recherche sur la qualité de l'air
Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Chapitre 5 - Effets sur les forêts et les sols des bassins versants
Auteur principal:
Daniel Houle
Chercheur, Pluies acides
Environnement Canada
105, rue McGill, 8ième étage
Montréal, Québec, H2Y 2E7
Canada
et
Direction de la recherche forestière
Complexe scientifique
Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec
2700, rue Einstein
Sainte-Foy, Québec, G1P 3W8
Canada

Contributeurs:
Shaun Watmough
Titulaire d'une bourse de recherche postdoctorale
Études en ressources environnementales
Université de Trent
Peterborough, Ontario, K9J 7B8
Canada

Rock Ouimet
Chercheur en pédologie et nutrition des forêts
Professeur associé,
Département des sciences du bois et de la forêt,
Université Laval
et
Direction de la recherche forestière
Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec
2700, rue Einstein
Sainte-Foy, Québec, G1P 3W8
Canada

Catherine Eimers
Chercheur
Université de Trent
Peterborough, Ontario, K9J 7B8
Canada

Robert Boutin
Agent de recherche
Processus sols forestiers
SCF/CFL/REC
Ressources naturelles Canada
1055, rue du P.E.P.S, C.P. 3800
Ste-Foy, Québec, G1V 4C7
Canada

Rodney J. Foster
Chercheur scientifique
SCF/CFGL/REFFFPF
Ressources naturelles Canada
1219, rue Queen est
Sault Ste. Marie, Ontario, P6A 5M7
Canada

Mike B. Lavigne
Écophysiologiste
Ressources forestières
Ressources naturelles Canada
C.P. 4000, Fredericton,
Nouveau-Brunswick, E3B 5P7
Canada

David Paré
Chercheur scientifique - Sols forestiersForest Ecosystems Program
Centre de Foresterie des Laurentides
Service canadien des forêts
Ressources naturelles Canada
1055, rue du PEPS, C.P. 3800
Sainte-Foy, Québec, G1V 4C7
Canada

Catherine Sainte-Marie
Groupe de recherche en écologie forestière
interuniversitaire
Université du Québec à Montréal
C.P. 8888, Succ. Centre-ville
Montréal, Québec, H3C 3P8
Canada

Suzanne Couture
Chargée de projets, Pluies acides
Recherche sur les écosystèmes fluviaux
Environnement Canada
105, rue McGill, 8ième étage
Montréal, Québec, H2Y 2E7
Canada

Christian Gagnon
Chercheur scientifique,
Centre Saint-Laurent
Environnement Canada
105, rue McGill, 7e étage
Montréal, Québec, H2Y 2E7
Canada

Jean-David Moore
Direction de la recherche forestière
Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec
2700, rue Einstein
Sainte-Foy, Québec, G1P 3W8
Canada

Chapitre 6 - Les effets sur la chimie et la biologie aquatiques
Éditeurs/Auteurs principaux:
Dean S. Jeffries
Chercheur scientifique
Impacts des activités humaines sur les processus dans les écosystèmes aquatiques
Environnement Canada
867, Lakeshore Road, C.P. 5050
Burlington, Ontario, L7R 4A6
Canada

Donald K. McNicol
Chef des programmes intégrés,
Service canadien de la faune – Région de l'Ontario
Environnement Canada
49, Camelot Drive
Ottawa, Ontario, K1A 0H3
Canada

Russ C. Weeber
Biologiste des pluies acides
Service canadien de la faune – Région de l'Ontario
Environnement Canada
49, Camelot Drive
Ottawa, Ontario, K1A 0H3
Canada

Contributeurs:
Peter G. Amiro
Biologiste
Division des Poissons Diadromes
Institut océanographique de Bedford
1, Challenger Drive
Dartmouth, Nouvelle-Écosse, B2Y 4A2
Canada

Dermot Antoniades
Titulaire d'une bourse de recherche postdoctorale
Département de géologie
Université de Toronto
22, Russell Street
Toronto, Ontario, M5S 3B1
Canada

Michelle F. Bowman
Titulaire d'une bourse de recherche postdoctorale
Centre des sciences environnementales de Dorset
Université de Toronto & Ministère de l'environnement de l'Ontario
1026, Bellwood Acres Road
Dorset, Ontario, P0A 1E0
Canada

Rodney W. Brook
Anatidae Consulting
11, Cremona Place
Ottawa, Ontario, K2G 1A2
Canada

Alexandra Bourne
Spécialiste de la qualité des eaux
Section de la gestion de la qualité de l'eau
Gestion de l'eau du Manitoba
123, Main Street
Winnipeg, Manitoba, R3C 1A5
Canada

Neil Burgess
Toxicologiste faunique
Service canadien de la faune - Région de l'Atlantique
Environnement Canada
6, Bruce Street
Mount Pearl, Terre-Neuve et Labrador, A1N 4T3
Canada

Richard Carignan
Professeur
Département des sciences biologiques
Université de Montréal, C.P. 6128
Montréal, Québec, H3C 3J7
Canada

Louise Champoux
Écotoxicologiste
Division des espèces en péril
Environnement Canada
1141, route de l'Église, 9ième étage
Sainte-Foy, Québec, G1V 4H5
Canada

Lo Chiang Cheng
Gaz provoquant l'effet de serre
Environnement Canada
351, boul. St. Joseph
Gatineau, Québec, K1A 0H3
Canada

Thomas A. Clair
Chercheur scientifique
Service canadien de la faune,
Science biologique
Environnement Canada
17, Waterfowl Lane
Sackville, Nouveau-Brunswick, E4L 1G6
Canada

Suzanne Couture
Chargée de projets, Pluies acides
Recherche sur les écosystèmes fluviaux
Environnement Canada
105, rue McGill, 8ième étage
Montréal, Québec, H2Y 2E7
Canada

Peter J. Dillon
Professeur
Études en ressources environnementales
Université de Trent
Peterborough, Ontario, K9J 7B8
Canada

Marianne S.V. Douglas
Professeur agrégé
Département de géologie
Université de Toronto
22, Russell Street
Toronto, Ontario, M5S 3B1
Canada

Jacques Dupont
Chef de service
Service de l'information sur les milieux aquatiques
Direction du suivi de l'état de l'environnement
Ministère de l'Environnement
675, boul. René-Lévesque Est, 7e étage
Québec, Québec, G1R 5V7
Canada

Jill Franklyn
Écologiste aquatique
Impacts des activités humaines sur les processus dans les écosystèmes aquatiques
Environnement Canada
867, Lakeshore Road, C.P. 5050
Burlington, Ontario, L7R 4A6
Canada

Christian Gagnon
Chercheur scientifique,
Centre Saint-Laurent
Environnement Canada
105, McGill, 7e étage
Montréal, Québec, H2Y 2E7
Canada

Mallory Gilliss
Coordonnatrice
Section des sciences de l'air
Ministère de l'Environnement et des Gouvernements locaux
Place Marysville
20, McGloin Street, Frédéricton,
Nouveau-Brunswick, E3A 5T8
Canada

Murray Hilderman
Écologiste environnemental
Sciences de l'air et sols
Environnement Saskatchewan
224 – 3211, Albert Street
Regina, Saskatchewan, S4S 5W6
Canada

Bronwyn Keatley
Chercheur
Évaluation paléoécologique « environnementale et laboratoire de recherche
Département de biologie
Université de Queen's
Kingston, Ontario, K7L 3N6
Canada

Wendel (Bill) Keller
Spécialiste de l'environnement–
Northern Lakes
Section de la surveillance biologique
Direction de la surveillance environnementale
Ministère de l'environnement de l'Ontario
Unité conjointe – écologie de l'eau douce
Université Laurentienne de Sudbury
1222, Ramsey Lake Road
Sudbury, Ontario, P3E 2C6
Canada

David A. Kirk
Directeur général
Aquila Applied Ecologists
C.P. 87
Carlsbad Springs, Ontario, K0A 1K0
Canada

Stéphane Légaré
Biologiste des pluies acides
Service canadien de la faune
Région du Québec
Environnement Canada
1141, route de l'Église C.P. 10100
Sainte-Foy, Québec, G1V 4H5
Canada

Shannon A. MacPhee
Programme de premier cycle de l'environnement
Département des sciences environnementales
Université de Guelph
Guelph, Ontario, N1G 2W1
Canada

Denis Masse
Responsable de la gestion de la faune et des habitats
Parc national de la Mauricie
2141, chemin St-Paul
Saint-Mathieu-du-parc, Québec,
G0X 1N0
Canada

Fariborz Norouzian
Impacts des activités humaines sur les processus dans les écosystèmes aquatiques
Environnement Canada
867, Lakeshore Road, C.P. 5050
Burlington, Ontario, L7R 4A6
Canada

Andrew Paterson
Chercheur scientifique,
Centre des sciences environnementales de Dorset
Ministère de l'environnement de l'Ontario
1026, Bellwood Acres Road, C.P. 39
Dorset, Ontario, P0A 1E0
Canada

Reinhard Pienitz
Professeur
Laboratoire de paléolimnologie et de paléoécologie
Centre d'études nordiques et du département de géographie
Université de Laval
Québec, Québec, G1K 7P4
Canada

Bev Raymond
Scientifique environnemental de directives de qualité
Recherche de coordination et d'application
Environnement Canada
700, 1200 West 73rd Avenue
Vancouver, Colombie-Britannique,
V6P 6H9
Canada

Ron A. Reid
Centre des sciences environnementales de Dorset
Ministère de l'environnement de l'Ontario
Dorset, Ontario, P0A 1E0
Canada

Kathleen M. Ruhland
Évaluation environnementale paléoécologique et laboratoire de recherche
Département de biologie
Université de Queen's
Kingston, Ontario, K7L 3N6
Canada

Anton M. Scheuhammer
Chercheur spécialisé en métaux
Toxicologie de la faune
Environnement Canada
1125, Colonel By Drive, Raven Road
Carleton University
Ottawa, Ontario, K1A 0H3
Canada

John P. Smol
Professeur
Département de Biologie
Université de Queen's
116, Barrie Street
Kingston, Ontario, K7L 3N6
Canada

Ed Snucins
Biologiste – Réhabilitation des lacs
Unité conjointe – écologie de l'eau douce
Université Laurentienne de Sudbury
Sudbury, Ontario, P3E 2C6
Canada

Keith M. Somers
Biostatisticien
Université de Trent et le Centre des sciences environnementales de Dorset
Ministère de l'environnement de l'Ontario
Dorset, Ontario, P0A 1E0
Canada

Michael A. Turner
Chercheur scientifique,
Limnologie
Division des sciences environnementales
Pêches et Océans Canada
501, University Crescent
Winnipeg, Manitoba, R3T 2N6
Canada

Alexander P. Wolfe
Professeur agrégé de la géologie du quaternaire
University Centre in Svalbard
C.P. Box 156
Longyearbyen, N-9171
Norway

CHAPITRE 7 - LE RÉTABLISSEMENT DES ÉCOSYSTÈMES AQUATIQUES
Éditeurs/Auteurs principaux:

Russ C. Weeber
Biologiste, pluies acides
Service canadien de la faune – région de l'Ontario
Environnement Canada
49, Camelot Drive
Ottawa, Ontario, K1A 0H3
Canada

Dean S. Jeffries
Chercheur scientifique
Impacts des activités humaines sur les processus dans les écosystèmes aquatiques
Environnement Canada
867, Lakeshore Road, C.P. 5050
Burlington, Ontario, L7R 4A6
Canada

Donald K. McNicol
Chef, programmes intégrés
Service canadien de la faune – région de l'Ontario
Environnement Canada
49, Camelot Drive
Ottawa Ontario, K1A 0H3
Canada

Contributeurs:

Peter G. Amiro
Biologiste
Division des poissons diadromes
Institut océanographique de Bedford
1, Challenger Drive
Dartmouth, Nouvelle-Écosse, B2Y 4A2
Canada

Rod G. Bradford
Biologiste
Évaluations des poissons diadromes, espèces menacées
Division des poissons diadromes
Pêches et Océans Canada
C.P. 1006
Dartmouth, Nouvelle-Écosse, B2Y 4A2
Canada

Rodney W. Brook
Anatidae Consulting
11, Cremona Place
Ottawa, Ontario, K2G 1A2
Canada

Thomas A. Clair
Chercheur scientifique
Service canadien de la faune, science biologique
Environnement Canada
17, Waterfowl Lane
Sackville, Nouveau-Brunswick E4L 1G6
Canada

Suzanne Couture
Chargée de projets, Pluies acides
Environnement Canada
Recherche sur les écosystèmes fluviaux
105, rue McGill, 8ième étage
Montréal, Québec, H2Y 2E7
Canada

Peter J. Dillon
Professeur
Études en ressources environnementales
Université de Trent
Peterborough, Ontario, K9J 7B8
Canada

Dave L. Findlay
Écologiste, Algues
Division des sciences environnementales
Pêches et Océans Canada
501, University Crescent
Winnipeg, Manitoba, R3T 2N6
Canada

Jill Franklyn
Écologiste aquatique
Impacts des activités humaines sur les processus dans les écosystèmes aquatiques
Environnement Canada
867, Lakeshore Road, C.P. 5050
Burlington, Ontario, L7R 4A6
Canada

Ray H. Hesslein
Chercheur scientifique principal,
Opérations de REL
Division des sciences environnementales
Pêches et Océans Canada
501, University Crescent
Winnipeg, Manitoba, R3T 2N6
Canada

Wendel (Bill) Keller
Spécialiste de l'environnement –
Lacs Nordiques
Unité conjointe – écologie de l'eau douce
Ministère de l'environnement de l'Ontario
1222, Ramsey Lake Road
Sudbury, Ontario, P3E 2C6
Canada

David Lam
Chef de projets
Projet d'intégration et de modélisation de l'information sur la surveillance de la qualité
Environnement Canada
867, Lakeshore Road, C.P. 5050
Burlington, Ontario, L7R 4A6
Canada

Ken H. Mills
Chercheur scientifique
Division des sciences environnementales
Pêches et Océans Canada
501 University Crescent
Winnipeg, Manitoba, R3T 2N6
Canada

Michael D. Moran
Chercheur scientifique
Recherche en modélisation et intégration
Direction de la recherche sur la qualité de l'air
Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Fariborz Norouzian
Impacts des activités humaines sur les processus dans les écosystèmes aquatiques
Environnement Canada
867, Lakeshore Road, C.P. 5050
Burlington, Ontario, L7R 4A6
Canada

Andrew Paterson
Scientifique, lacs intérieurs
Centre des sciences environnementales de Dorset
Ministère de l'environnement de l'Ontario
1026, Bellwood Acres Road, C.P. 39
Dorset, Ontario, P0A 1E0
Canada

Michael J. Paterson
Écologiste,
Communautés d'invertébrés
Division des sciences environnementales
Pêches et Océans Canada
501, University Crescent
Winnipeg, Manitoba, R3T 2N6
Canada

Ed Snucins
Biologiste-Réhabilitation des lacs
Unité conjointe – écologie de l'eau douce

Université Laurentienne de Sudbury
Sudbury, Ontario, P3E 2C6
Canada

Keith M. Somers
Biostatisticien
Université de Trent et le Centre des sciences environnementales de Dorset
Ministère de l'environnement de l'Ontario
Dorset, Ontario, P0A 1E0
Canada

Vincent L. St. Louis
Maître de conférences
écologiste aquatique
Département des sciences biologiques
Université d'Alberta
Edmonton, Alberta, T6G 2E9
Canada

Charles G. Trick
Professeur
Département de biologie
Université d'Ontario occidental
London, Ontario, N6A 5B7
Canada

Michael A. Turner
Chercheur scientifique
Limnologie
Division des sciences environnementales
Pêches et Océans Canada
501, University Crescent
Winnipeg, Manitoba, R3T 2N6
Canada

Rolf Vinebrooke
Professeur agrégé
Laboratoire de biodiversité et d'eau douce
Département des sciences biologiques
Université d'Alberta
Edmonton, Alberta, T6G 2E9
Canada

Jennifer G. Winter
Membre auxiliaire du corps professoral
Département de biologie
Université de Waterloo
200, University Avenue West
Waterloo, Ontario, N2L 3G1
Canada

Isaac Wong
Gestionnaire, Tech environnementales intelligentes de pointe
Projet d'intégration et de modélisation de l'info sur la surveillance de la qualité
Environnement Canada
867, Lakeshore Road, C.P. 5050
Burlington, Ontario, L7R 4A6
Canada

Norman D. Yan
Professeur agrégé en sciences biologiques
Université de York
4700, Keele Street
Toronto, Ontario, M3J 1P3
Canada

Chapitre 8 - Les charges critiques: sont-elles dépassées?
Auteurs principaux:

Dean S. Jeffries
Chercheur scientifique
Impacts des activités humaines sur les processus dans les écosystèmes aquatiques
Environnement Canada
867, Lakeshore Road, C.P. 5050
Burlington, Ontario, L7R 4A6
Canada

Rock Ouimet
Chercheur en pédologie et nutrition des forêts et Professeur associé
Département des sciences du bois et de la forêt,
Université Laval
et
Direction de la recherche forestière
Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec
2700, rue Einstein
Sainte-Foy, Québec, G1P 3W8
Canada

Contributeurs:

Julian Aherne
Titulaire d'une bourse de recherche postdoctorale
Études en ressources environnementales
Université de Trent
Peterborough, Ontario, K9J 7B8
Canada

Paul A. Arp
Professeur, Sols forestiers
Faculté en sciences forestières et en gestion environnementale
Université du Nouveau-Brunswick
28, Dineen Drive, C.P. 44555
Frédéricton, Nouveau-Brunswick, E3B 6C2
Canada

Vincent Balland
Associé de recherches
Ressources naturelles Canada, C.P. 4000
Frédéricton, Nouveau-Brunswick, E3B 5P7
Canada

Ian DeMerchant
Recherche en méthodologie,
Taxonomie et en applications du SIG
Natural Resources Canada
P.O. Box 4000
Fredericton, New Brunswick E3B 5P7
Canada

Jacques Dupont
Chef de service
Service de l'information sur les milieux aquatiques
Direction du suivi de l'état de l'environnement
Ministère de l'Environnement
675, boul. René-Lévesque Est, 7e étage
Québec, Québec, G1R 5V7
Canada

Jill Franklyn
Écologiste aquatique
Impacts des activités humaines sur les processus dans les écosystèmes aquatiques
Environnement Canada
867, LakeshoreRoad, C.P. 5050
Burlington, Ontario, L7R 4A6
Canada

David Lam
Chef de projets
Direction de la Surveillance de la qualité de l'eau
Institut national de la recherche sur les eaux
Environnement Canada
867, Lakeshore Road, C.P. 5050
Burlington, Ontario, L7R 4A6
Canada

Fariborz Norouzian
Impacts des activités humaines sur les processus dans les écosystèmes aquatiques
Environnement Canada
867, Lakeshore Road, C.P. 5050
Burlington, Ontario, L7R 4A6
Canada

Shaun Watmough
Titulaire d'une bourse de recherche postdoctorale
Études en ressources environnementales
Université de Trent
Peterborough, Ontario, K9J 7B8
Canada

Isaac Wong
Gestionnaire, -Technologies environnementales intelligentes de pointe
Direction de la Surveillance de la qualité de l'eau
Institut national de la recherche sur les eaux
Environnement Canada
867, Lakeshore Road, C.P. 5050
Burlington, Ontario, L7R 4A6
Canada

Chapitre 9 - Les effets des dépôts acides sur la santé humaine
Auteurs principaux:

Marie-Ève Héroux
Biologiste
Section des carburants et de la qualité de l'air
Santé Canada
400, Cooper Street
Ottawa, Ontario, K1A 0K9
Canada

Barry Jessiman
Chef, Section des carburants et de la qualité de l'air
Santé Canada
400, Cooper Street
Ottawa, Ontario, K1A 0K9 Canada

Chapitre 10 - Les avantages socio-économiques et les coûts de réduire les dépôts acides
Auteurs principaux:

Yves Bourassa
Gestionnaire des politiques
Direction des Analyses Réglementaire et Économique
Environnement Canada
10, rue Wellington, 24e étage
Gatineau, Québec, K1A 0H3
Canada

Michael Donohue
Économiste
Direction des Analyses Réglementaire et Économique
Environnement Canada
10, rue Wellington, 24e étage
Gatineau, Québec, K1A 0H3
Canada

Contributeur:

Fadi W. Balesh
Économiste Principal
Direction des Analyses Réglementaire et Économique
Environnement Canada
10, rue Wellington, 24e étage
Gatineau, Québec, K1A 0H3
Canada

Chapitre 11 - Les cobénéfices et les liens avec d'autres questions de qualité de l'air

Magda Little
Conseillère en politiques scientifiques
Service météorologique du Canada
Politiques et affaires internationales
Environnement Canada
10, rue Wellington
Gatineau, Québec, K1A 0H3
Canada

Heather A. Morrison
Conseillère scientifique principale, Pluies acides
Direction de l'évaluation et de l'intégration scientifiques
Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Chapitre 12 - Les réponses de la science aux questions clés, y compris sur les lacunes scientifiques et les recherches à venir
Auteure principale:

Heather A. Morrison
Conseillère scientifique principale, Pluies acides, Acid Rain
Direction de l'évaluation et de l'intégration scientifiques
Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario, Canada

Contributeurs:
Auteurs principaux de l'évaluation
(listés ci-dessous)

RÉVISEURS
Je tiens à remercier les réviseurs suivants dont le temps, l'effort et l'expertise ont compté pour une large part dans la réalisation de cette évaluation.

Évaluation scientifique 2004 des dépôts acides au Canada: Sommaire des résultats clés

Auteurs principaux de l'évaluation
(listés ci-dessous)

Kerri Timoffee
Gestionnaire, Programme des pluies acides
Questions atmosphériques transfrontalières
Environnement Canada
351, Boulevard Saint-Joseph
Gatineau, Québec, K1A 0H3
Canada

Évaluation scientifique 2004 des dépôts acides au Canada

Chapitre 1 – Introduction
Auteurs principaux de l'évaluation
(listés ci-dessous)

Kerri Timoffee
Gestionnaire, Programme des pluies acides
Questions atmosphériques transfrontalières
Environnement Canada
351, Boulevard Saint-Joseph
Gatineau, Québec, K1A 0H3
Canada

Chapitre 2 – Les émissions polluantes reliées aux dépôts acides de l'Amérique du Nord

Gregory Stella
Alpine Geophysics, LLC
387, Pollard Mine Road
Burnsville, Caroline du Nord, 28714
É.-U.

Paul J. Miller
Coordonnateur de programme de qualité de l'air
Commission de coopération environnementale
393, rue Saint-Jacques Ouest,
Bureau 200
Montréal, Québec, H2Y 1N9
Canada

Chapitre 3 – Les réactions de l'atmosphère suite aux changements des émissions antérieures
Critique Anonyme

Van C. Bowersox
Coordonnateur National Acid Deposition Program
Illinois State Water Survey
2204, Griffith Drive
Champaign, Illinois, 61820
É.-U.

Neville Reid
Surveillant
Modélisation et qualité des données
Direction de la surveillance environnementale
Ministère de l'Environnement de l'Ontario
125, Resources Road
Etobicoke, Ontario, M9P 3V6
Canada

CHAPITRE 4 – Les programmes de mesures de contrôle des émissions, actuels et proposés: comment affecteront-ils les dépôts acides?
Robert Bloxam
Chef de programme, Modélisation atmosphérique
Direction de la surveillance environnementale
Ministère de l'Environnement de l'Ontario
125, Resources Road
Etobicoke, Ontario, M9P 3V6
Canada

Michael Hingston
Chef temporaire - Section de la pollution atmosphérique
Direction de la protection de l'environnement
Environnement Canada – Région de l'Atlantique
45, Alderney Drive, 5e étage
Dartmouth, Nouvelle-Écosse, B2Y 2N6
Canada

Chapitre 5 – Les effets sur les forêts et les sols des bassins versants
Myron J. Mitchell
Professeur
et Directeur du Conseil de la science des systèmes hydologiques
SUNY-ESF
1, Forestry Drive
Syracuse, New York, 13210-2788
É.-U.

David Paré
Chercheur scientifique, processus des sols forestiers
Programme des écosystèmes forestiers
Ressources naturelles Canada
1055, rue du P.E.P.S., Boîte postale 3800
Sainte-Foy, Québec, G1V 4C7
Canada

Chapitre 6 – Les effets sur la chimie et la biologie aquatiques
John L. Stoddard
Chercheur scientifique
Bureau de recherche et de développement
U.S. Environmental Protection Agency
200, 35e rue SW
Corvallis, Oregon, 97333
É.-U.

Rolf Vinebrooke
Maître de conférences
Laboratoire de la biodiversité de l'eau douce
Département des sciences biologiques
Université de l'Alberta
Edmonton, Alberta, T6G 2E9

Chapitre 7 – Le rétablissement des écosystèmes aquatiques
Alan Jenkins
Professeur et Directeur de la science
Water Programme
CEH Wallingford Site
Maclean Building
Crowmarsh Gifford
Wallingford, Oxon,
OX10 8BB
Angleterre

Bjørn Olav Rosseland
Professeur d'écotoxicologie
Coordonnateur de l'Akvaforsk-alliance, Environment and Production Technology
Rédacteur associé, Wildlife Biology
Department of Ecology and Natural Resource Management &
Department of Plant and Environmental Sciences
Norwegian University of Life Sciences, UMB
Urbygningen, Ole Sverres plass 1
Boîte postale 5003, N-1432 Ås
Norvège

Tom Brydges
Retraité, Environnement Canada
39, rue Elizabeth Sud
Brampton, Ontario, L6Y 1R2
Canada

Rolf Vinebrooke
Maître de conférences
Laboratoire de la biodiversité de l'eau douce
Département des sciences biologiques
Université de l'Alberta
Edmonton, Alberta, T6G 2E9
Canada

Chapitre 8 – Les charges critiques: sont-elles dépassées?
Arne Henriksen
Chercheur scientifique
Norwegian Institute for Water Research (NIVA)
Brekkeveien 19
Boîte postale 173, Kjelsaas
Oslo,
N-0411
Norvège

Eric K. Miller
Président et chercheur scientifique principal
Ecosystems Research Group, Ltd.
Boîte postale 1227
Norwich, Vermont,
05055
É.-U.

Chapitre 9 – Les effets des dépôts acides sur la santé humaine
Mark S. Goldberg
Maître de conférences
Département de médecine et Département commun d'épidémiologie, de biostatistiques et de médecine du travail
Université McGill
1020, Avenue du Pin Ouest
Montréal, Québec, H3A 1A2
Canada

Claude Viau
Professeur
Département d'hygiène du milieu
Université de Montréal
2375, chemin de la Côte
Sainte-Catherine
Montréal, Québec, H3T 1A8
Canada

Joan Saary
Médecin de la santé du travail
Boursier post-doctoral du IRSC
Investigateur clinicien
Université de Toronto
St. Michael's Hospital
Clinique de la médecine du travail
4e étage, Aile Shuter
30, rue Bond
Toronto, Ontario, M5B 1W8
Canada

Roohi Qureshi
Occupational Medicine Physician and Lecturer
Université de Torohto
St. Michael's Hospital
Clinique de la médecine du travail
4e étage, Aile Shuter
30, rue Bond
Toronto, Ontario, M5B 1W8
Canada

Chapitre 10 – Les avantages socio-économiques et les coûts de réduire les dépôts acides
Peter N. Nemetz
Professeur de stratégie et de science de l'économie d'entreprise
Sauder School of Business
Université de la Colombie-Britannique
Vancouver, Colombie-Britannique,
V6T 1Z4
Canada

Alan Krupnik
Chargé principal et directeur
Resources for the Future
1616, rue P NW
Washington, DC 20036
É.-U.

Chapitre 11 – Les cobénéfices et les liens avec d'autres questions de qualité de l'air
David Plummer
Chercheur scientifique
Environnement Canada
à Ouranos
550 rue Sherbrooke Ouest, 19e étage
Montréal, Québec, H3A 1B9
Canada

Knut von Salzen
Chercheur scientifique
Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique
Environnement Canada
Université de Victoria
Victoria, Colombie-Britannique,
V8W 2Y2
Canada

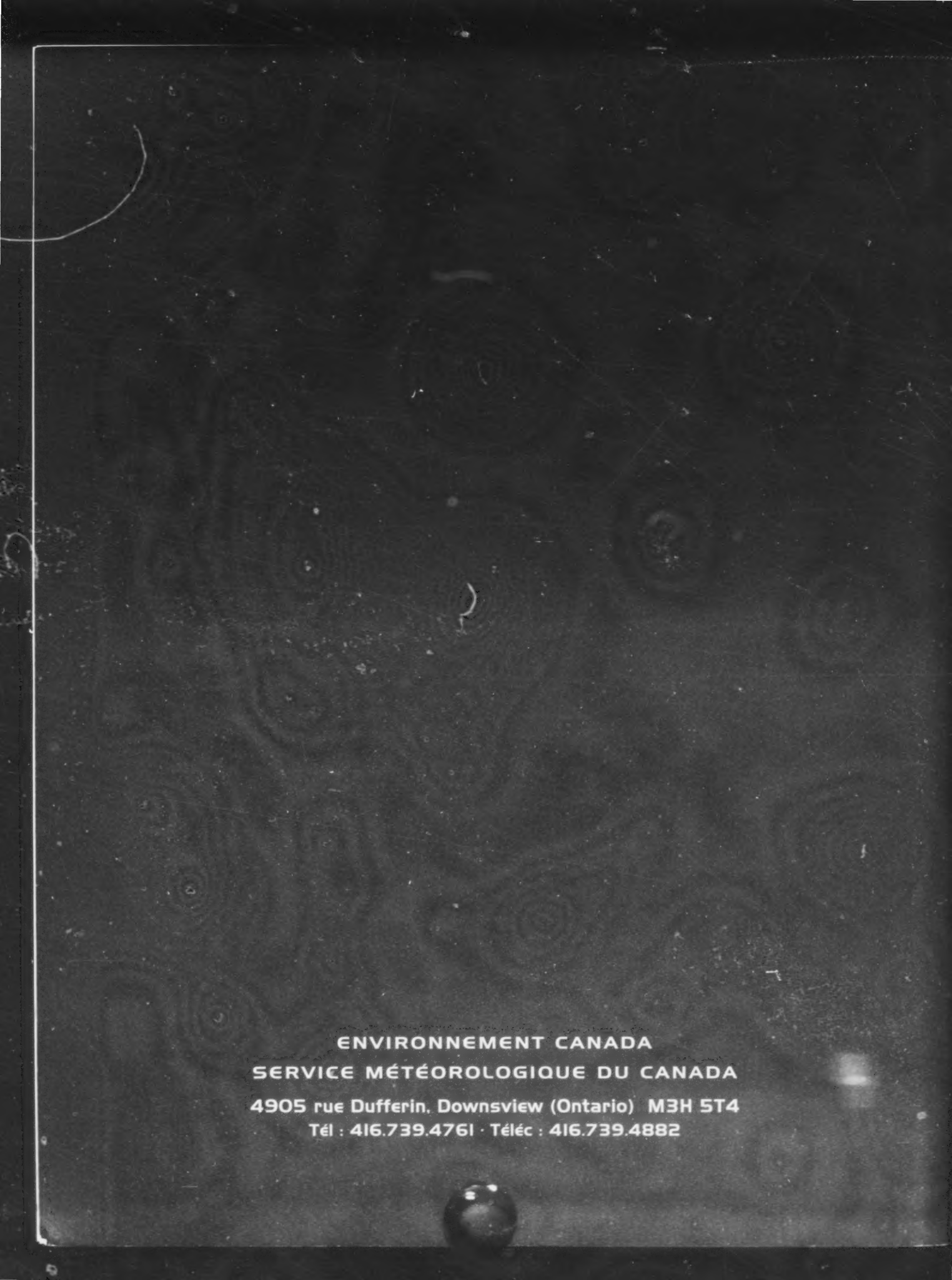
Paul A. Arp
Professeur, Processus des sols forestiers,
Département des sciences de la forêt et la gestion environnementale
28 Dineen Drive
Université du Nouveau-Brunswick
Boîte postale 44555
Fredericton, Nouveau-Brunswick,
E3B 6C2
Canada

Henry Hengeveld
Emeritus associé
Direction de l'évaluation scientifique et de l'intégration
Environnement Canada
4905, rue Dufferin
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Carrie Lillyman
Conseillère scientifique sur la qualité de l'air
Direction de l'évaluation scientifique et de l'intégration
Environnement Canada
4905, rue Dufferin
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Chapitre 12 – Les réponses de la science aux questions clés, y compris sur les lacunes scientifiques et les recherches à venir

Auteurs principaux de l'évaluation
(listés ci-dessous)



ENVIRONNEMENT CANADA
SERVICE MÉTÉOROLOGIQUE DU CANADA
4905 rue Dufferin, Downsview (Ontario) M3H 5T4
Tél : 416.739.4761 · Téléc : 416.739.4882